Maggio 2011 € 3,90

Le Scienze

www.lescienze.it
edizione italiana di Scientific American

La colonna sonora dell'universo

Osservare le onde gravitazionali aprirà una nuova dimensione nello studio del cosmo

Fisica

Il diavoletto di Maxwell diventa realtà

Archeologia

Nuove scoperte e nuove ipotesi sulla funzione di Stonehenge

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 513

IN COPERTINA

Nuovi sofisticati esperimenti andranno a caccia delle elusive onde gravitazionali, paragonabili a potenti suoni emessi dall'universo.
(Illustrazione: Albert Einstein Institute/Milde Science Communication)

Sommario

maggio 2011 numero 513

58

Photograph by Adam Voorhes

Sommario

20

28

109

Rubriche

SCIENZA NEWS

Anja Niedringhaus/AP Photo/La Presse (*bambina e adulto*); cortesia Giorgio Manzi (*cranio di Ceprano*); Owen Price/iStockphoto (*pan di Spagna*)

di Enrico Bellone

La parte illuminata del paese

Questo è il primo editoriale scritto da Enrico Bellone come direttore di «Le Scienze», il manifesto con cui si presentava ai lettori e alla redazione, ed è al tempo stesso una testimonianza della battaglia che ha condotto da queste pagine e di una profondità di pensiero che ha resistito e resisterà alla prova del tempo. L'editoriale è apparso sul numero di gennaio 1996 di «Le Scienze»; ma potrebbe averlo scritto ieri.

Sono passati quasi trent'anni da quando Felice Ippolito e Alberto Mondadori inventarono «Le Scienze». Fu, in quegli anni, un'ottima invenzione. Ed è, oggi, un'eredità solida e vasta, della cui natura sono consapevole nel momento di firmare il mio primo editoriale. L'eredità è solida perché ogni mese «Le Scienze» è ormai diffusa in 65.000 copie e coinvolge centinaia di migliaia di lettori, senza però cedere alle mode della scienza spettacolo e restando ben ferma sul terreno dell'alta divulgazione. L'eredità è poi vasta in quanto «Le Scienze» si lega a una rete internazionale di edizioni sorelle (europee e non europee) gemmate sul tronco di «Scientific American»: una vera e propria comunità sovranazionale, nel cui ambito «Le Scienze» riceve e fornisce dati e conoscenze.

L'Italia deve molto a Felice Ippolito, e per molte ragioni. Una di esse è certamente «Le Scienze». È quindi normale che io percepisca, nel mio privato, il peso della responsabilità che mi tocca. E rientra nella sfera pubblica delle aspettative che io definisca, in una linea di continuità, la parte che intendo svolgere.

Quest'ultima deve partire da un dato contraddittorio: la buona salute de «Le Scienze» è in contrasto con quanto si agita in molte zone della cultura della nazione. In tali zone, infatti, è presente un atteggiamento poco benevolo o apertamente ostile verso la scienza e la tecnologia. Nel senso comune, poi, fioriscono le illusioni elargite da coloro che amano il mistero, contrappongono alla scienza forme magiche di sapienza e celebrano una natura buona e incontaminata che esiste solo nei sogni. Ebbene, si deve tenere conto di questo dato di fatto. Sarebbe molto grave, a mio avviso, non alzare la voce contro l'inclinazione a vedere, nella conoscenza scientifica del mondo, la sorgente di ogni malanno, e a credere che la ricerca scientifica e tecnologica sia la premessa per una progressiva perdita di libertà dei singoli. Sarebbe molto grave sia per quanto riguarda il futuro della ricerca, sia per quanto riguarda la modernizzazione del nostro paese: ricerca e modernizzazione, infatti, potrebbero fondersi solo se entrambe fossero finalmente riconosciute nell'ambito del progresso civile, e non più nell'ottica di un'incontrollata proliferazione di macchine imposte a masse inconsapevoli e acritiche.

Sta qui l'importanza del ruolo che «Le Scienze» si è assunta e continua ad assumersi nella critica dei contemporanei miti antiscientifici: il ruolo di chi, nel diffondere il sapere scientifico, ha sempre presente la circostanza per cui esso è cultura nel senso forte del termine. L'indebolimento del legame stretto fra scienza e cultura è pericoloso. Esso alimenta l'opinione che la scienza sia solo una forma della tecnica e debba quindi sottostare a quei criteri di valutazione che giudicano positivamente solo ciò che sarà fruibile domani pomeriggio, e non prendono in considerazione ciò che invece richiederà anni di lavoro e intelligenza per realizzarsi.

Sull'immagine di una scienza priva di contenuto culturale e ridotta a pura tecnica poggiano – con un certo consenso popolare – le scuse piagnucolose circa i finanziamenti magrissimi per la scienza, il miope disinteresse verso le tecnologie non immediatamente fruibili, la cecità verso la questione energetica, la degradazione dei rapporti tra ricerca e industria, l'inclinazione a burocratizzare una comunità scientifica che solo nella libertà può invece crescere e prosperare, il malcostume nella selezione degli studiosi, la sottovalutazione dei disastri provocati da un sistema scolastico lasciato alla deriva.

Sto solo ricordando, per sommi capi, le ben note condizioni della situazione italiana. Non faccio tuttavia appello alla memoria per continuare nel gioco sterile delle lamentazioni. Negli ultimi decenni l'albero italiano della scienza e della tecnologia si è comunque irrobustito, e, nello stesso tempo, si è ampliato il numero delle persone che vedono in quell'albero non una minaccia, ma una garanzia per lo spirito critico e per la modernizzazione del paese.

La filosofia di «Le Scienze» è allora questa: stabilire un razionalistico canale di comunicazione tra i nostri lettori e i protagonisti della modernizzazione. Questi ultimi stanno nella comunità scientifica intesa come produttrice di cultura e negli intellettuali aperti alla crescita della conoscenza, nel mondo industriale che voglia puntare carte vere sulla ricerca, nell'editoria scientifica, nelle istituzioni convinte che uno Stato è civile quando ha una scuola non pregalileiana, nei settori della politica che avranno il coraggio di affrontare davvero la questione energetica e di tradurre in atti l'abusato slogan sulla scienza come ricchezza nazionale. Una filosofia, insomma, che renda visibile tra i cittadini la parte illuminata del paese e lavori per estenderla.

di Marco Cattaneo

Ciao, Enrico

L'editoriale che non avrei mai voluto scrivere

Da giorni mi perseguitano, affastellandosi, i fotogrammi di quindici anni. Dell'allegria e delle amarezze, dei successi, della passione. Anche delle discussioni. Mai accese, queste. Sempre in punta di fioretto. Da cui regolarmente uscivamo ciascuno più saldo nelle sue ragioni, eppure più ricco. A volte, se posso osare, felice.

Enrico Bellone era un uomo umile e caparbio, la cui riservatezza sconfinava volentieri in una ritrosia discreta. Poi, all'improvviso, la sua voce profonda rompeva il silenzio e irrompeva nella conversazione catturando l'attenzione. Erano storie che arrivavano da lontano, da una cultura vasta ma mai erudita, da una riflessione intensa ma mai dottrinale. Così quell'uomo minuto conquistava la scena, qualunque scena, per allontanarsene in punta di piedi, lasciandoti lì ad ascoltare l'eco dei suoi pensieri.

Enrico se ne è andato nella notte tra il 15 e il 16 aprile. Della sua statura di storico e filosofo della scienza hanno parlato in molti, in questi giorni. Qualcuno ha ricordato la sua ostinata dedizione alla causa della cultura scientifica, che i lettori di queste pagine conoscono bene. Altri ne hanno sottolineato la lucidità di pensatore.

Così a me resta il piacere di riassaporare il suo fascino privato, quello che nel suo incessante peregrinare tra l'università e la redazione, tra convegni e festival, lo riportava al più presto nella sua Tortona, tra gli amici di sempre. Mi piace ricordare l'Enrico che vantava (si fa per dire) il tempo in cui aveva praticato da ala destra, sognando il grande Torino. Quello che rientrando dall'università, dopo la sua lezione, chiedeva gentile se potessimo portargli un panino. «Come?». «Mah... – rispondeva dopo una breve pausa – facciamo con il prosciutto». Sempre uguale, sempre lo stesso. E ancora quello che non vedeva l'ora che arrivasse l'estate per trasferirsi nella casetta di campagna, a godersi i suoi libri e i suoi affetti.

Tommaso Bonaventura/Contrasto

Sarà per questo che le due singole righe che più amo di tutti i suoi saggi – nella *Premessa* di *Galilei e l'abisso* – non hanno nulla a che vedere con la scienza, forse: «E poi viene il tempo in cui il lato in ombra del giardino è un posto buono per lavorare». È lì che l'ho sempre immaginato, prima che faccia sera. E quando gli ho detto che aveva regalato al suo Galileo uno splendido *incipit* letterario ha minimizzato, come al solito. Eppure sapeva che quello era il mio, privatissimo Enrico Bellone.

Da giorni – dicevo – mi perseguitano, affastellandosi, i fotogrammi di quindici anni. Lui mi direbbe, con un sorriso indulgente, che è il modo in cui il mio cervello «fabbrica, demolisce, ristruttura» la realtà, per usare le parole del suo libro appena uscito, *Qualcosa, là fuori*. Nelle righe finali c'è la sua ultima appassionata arringa in nome della «libera ricerca di base». La porteremo con noi, con il ricordo di un uomo semplice e straordinario.

Le stelle, primo capitolo delle bellezze del cosmo

Nell'universo c'è spazio per nani e giganti, come dimostra lo studio delle stelle. Nel loro album di famiglia si trovano astri sia con massa decine di volte più grande di quella del Sole sia con massa molto più piccola rispetto a quella solare. Tra questi estremi c'è una lunga evoluzione affascinante e turbolenta, per esempio le immani esplosioni che concludono la vita di alcune stelle, che ancora oggi ha diversi punti poco chiari. Al mondo degli astri è dedicato *Vita e morte di una stella*, il primo di sei DVD, in edicola a richiesta con il numero di maggio di «Le Scienze», della collana *Le meraviglie dell'universo*. Computer grafica, immagini satellitari inedite e interviste a scienziati illustreranno come nascono, come si evolvono e come muoiono le compagne del Sole, che da parte sua continuerà a brillare per altri cinque miliardi di anni. Dalle nane bianche alle stelle supergiganti, dalle enigmatiche vagabonde blu, vere e proprie stelle nomadi, alle supernove più potenti dell'universo, conoscere a fondo i diversi membri della famiglia degli astri è un tassello fondamentale sia per capire l'evoluzione del cosmo sia per comprendere come è nata la vita sulla Terra, figlia di elementi chimici sparsi nell'universo diversi miliardi di anni fa da lontane parenti del Sole.

I successivi appuntamenti mensili della collana *Le meraviglie del cosmo*, sempre a richiesta con la rivista, riguarderanno diversi temi: i pericoli che minacciano la fine delle Terra, dagli asteroidi alle comete, dai lampi di raggi gamma allo stesso Sole; le galassie aliene, cioè lo studio dei miliardi di galassie che accompagnano la nostra, la Via Lattea; i luoghi «pericolosi dell'universo», dai buchi neri alle fusioni tra galassie passando per oggetti bizzarri come pulsar e blazar; la ricerca di forme di vita extraterrestre intelligente; i segreti del Sole. Non resta che augurarvi buona visione.

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono richiedere l'intera collana **La conquista dello spazio**, composta da 6 DVD, al prezzo di € 35,00 (anziché € 41,40) oppure i singoli DVD al prezzo di € 6,90 ciascuno, telefonando al Servizio clienti: 199.700.721 (02.39633433 da telefoni pubblici o cellulari). Con le stesse modalità si può richiedere la collana **Mentimatematiche. I grandi incontri del Festival della Matematica** al prezzo di € 59,00 (anziché 69,00) oppure i singoli DVD, al prezzo di € 6,90 ciascuno.
Sono inoltre disponibili, al prezzo di € 7,90, tutti i volumi della **Biblioteca delle scienze**, che possono essere richiesti sempre al servizio clienti, agli stessi numeri.

Il libro di giugno

Una storia commestibile dell'umanità

Le forti preoccupazioni per l'aumento dei prezzi del cibo registrati negli ultimi anni a livello globale – e che in alcuni casi hanno portato al blocco delle esportazioni di materie prime alimentari considerate fondamentali per la stabilità interna di diversi paesi – e lo sfruttamento di colture per la produzione di biocombustibili invece che per la produzione di alimenti di base sono due esempi emblematici del potere politico del cibo. Non è una novità. La nostra storia è ricca di episodi in cui le contese per una fonte alimentare hanno segnato rapporti tra sistemi ideologici, tra popoli, tra classi sociali di uno stesso popolo.
Il cibo però è stato ed è ancora oggi anche molto altro, come racconta Tom Standage, giornalista dell'«Economist», in *Una storia commestibile dell'umanità*, il libro in edicola con «Le Scienze» di giugno. Ha prodotto cambiamenti epocali, come dimostra l'invenzione dell'agricoltura circa 10.000 anni fa. Di fatto una delle innovazioni più importanti per la storia della nostra specie, grazie a cui, spiega Standage, ci siamo messi in cammino sulla strada che porta alla civiltà moderna.
Il giornalista britannico non intende raccontare una storia del cibo, ma una storia dell'umanità attraverso il cibo, fattore spesso nascosto eppure determinante. Uno strumento utile per capire l'origine e la traiettoria di fondamentali dibattiti attuali.

"e poi mamma mi ha detto che potevo essere
una sirena per tutto il giorno..."
egitto
L'inizio di tutte le storie.
Anche la tua.
Mar Rosso
www.egypt.travel

di Angela Simone

Geni per l'agricoltura

Per Silvio Salvi, biologo che ha contribuito alla mappatura del genoma del melo domestico, la ricerca genetica è sempre più importante per il settore agronomico

Tre anni di sabbatico per imparare a lavorare nella ricerca di frontiera della genetica, il sequenziamento, prima che diventi *routine*. È quello che ha scelto di fare Silvio Salvi, genetista della Facoltà di agraria dell'Università di Bologna, quando per partecipare alla mappatura del genoma del melo si è unito temporaneamente alla squadra dell'Istituto agrario di San Michele all'Adige, in provincia di Trento, capofila del progetto. Dopo quasi tre anni di studi e lavoro, i circa 57.000 geni del melo domestico (*Malus* x *domestica* Borkh.) ormai sono stati pubblicati. Un tempo breve rispetto ai dieci anni necessari alla mappatura del genoma dell'uomo che di geni ne ha circa la metà. Il sequenziamento del melo inoltre ha mostrato che questa pianta è quella con il maggior numero di geni tra tutte quelle sequenziate.

Salvi, la frontiera del sequenziamento è alla sua conclusione?

Ormai quasi tutte le specie, tra quelle di maggiore interesse per l'agricoltura, sono state mappate o stanno per esserlo. Rimangono frumento e orzo, che hanno genomi molto grandi e complessi, anche per la presenza di trasposoni, cioè sequenze ripetute che si «spostano» tra i cromosomi. Ma il più è stato fatto: se includiamo anche i batteri, sono oltre 1000 le specie con genoma sequenziato e le macchine sono sempre più potenti e veloci. Il sequenziamento era una sfida qualche anno fa, ora di fatto non lo è quasi più. Ecco perché ho voluto prendere questo treno prima che fosse tardi.

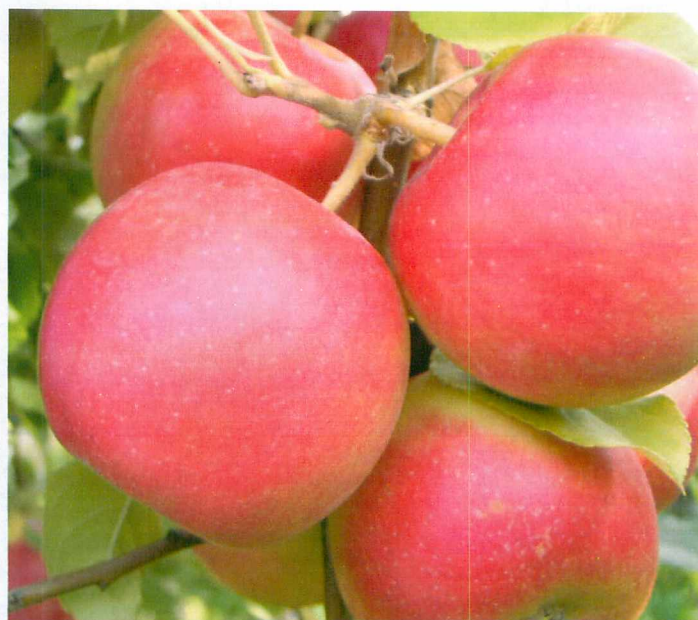
I dati ottenuti dopo un sequenziamento finiscono in banche pubbliche. Come funzionano?

La banca dati di riferimento è allo statunitense National Center for Biotechnology Information, ma ci sono vari siti Internet pubblici che si possono consultare. Le banche dati sono uniche e sono organizzate come alberi filogenetici, suddivise per categorie tassonomiche. È importante ricordare che prima di pubblicare il completato sequenziamento su riviste scientifiche, nel nostro caso quello melo su «Nature Genetics», bisogna prima garantire il deposito in banca dati, a garanzia della pubblica condivisione dei risultati della ricerca.

Nel campo agrario, poi, oltre alle banche di sequenze geniche, sono fondamentali le banche di semi. Ci sono collezioni finanziate da singoli paesi e collezioni finanziate da enti sovranazionali. Anche in questo caso l'accesso è spesso libero, e ognuno può richiedere una piccola quantità dei semi a scopo di ricerca.

E ora che è rientrato a Bologna?

Ho abbandonato gli alberi da frutto e sono tornato a occuparmi di cereali e frumenti. Ho ripreso la ricerca sul TILLING, una tecnica che avevo importato a Bologna, e siamo stati il primo gruppo a usarla in Italia, dal laboratorio del professor Luca Comai, allo-

Campi da innovare. Mele del melo domestico *Malus* x *domestica*, il cui genoma è stato sequenziato di recente. A fronte, orzo della varietà Morex mutato con la tecnica TILLING da Silvio Salvi.

CHI È

Silvio Salvi si è laureato in biologia all'Università di Bologna, e sempre a Bologna ha ottenuto il dottorato di ricerca in biotecnologie cellulari e molecolari.
Ha lavorato come *visiting scientist* al John Innes Centre di Norwich, Regno Unito, e al Department of Agronomy e Plant Breeding dell'Università del Minnesota a St Paul, negli Stati Uniti.
Dal 2003 è ricercatore all'area di miglioramento genetico delle piante del Dipartimento di scienze e tecnologie agro-ambientali (DiSTA) della Facoltà di agraria, Università di Bologna.
Al DiSTA si occupa del controllo genetico dei caratteri quantitativi (principalmente in mais e orzo), del clonaggio di QTL, e dello sviluppo di una piattaforma di *reverse genetics* basata sulla tecnica TILLING.
Ha partecipato alla mappatura del genoma del melo *Malus x domestica* Borkh., pubblicata su «Nature Genetics», lavorando all'Istituto Agrario di San Michele all'Adige, in provincia di Trento, nei tre anni di sabbatico.
Ha all'attivo decine di pubblicazioni nel campo della genetica agraria.

ra a Seattle, dove sono stato prima dell'esperienza in Trentino-Alto Adige. La tecnica TILLING cerca di trovare geni e alleli favorevoli al miglioramento genetico tramite combinazioni innovative di biologia molecolare e mutagenesi. In questo modo si riesce a risalire molto velocemente a che cosa c'è dietro in termini di geni, il genotipo, all'effetto visibile, il fenotipo, di una variante mutata. La mutagenesi è usata da sempre in genetica agraria, prima ancora dell'avvento della biologia molecolare: tramite mutageni chimici o fisici, come nel caso delle radiazioni del famoso grano duro Creso, si aumenta la frequenza con cui si formano varianti allo scopo di favorire la selezione.

Ora stiamo applicando la tecnica TILLING all'orzo della varietà Morex, che verrà mappata. Inoltre l'orzo è una pianta modello per il frumento. Poiché orzo e grano sono imparentati dal punto di

vista filogenetico, è molto probabile che un gene trovato nell'orzo sia presente anche nel genoma del frumento.

Di recente si è parlato molto della selezione assistita da marcatori. È una tecnica innovativa?

Nel nostro ambiente si parla di selezione assistita da marcatori o MAS, dal suo acronimo inglese *marker assisted selection*, dalla metà degli anni ottanta, con i primi studi sul pomodoro. È quindi una tecnica più che consolidata, sia nelle università sia nelle aziende private, e ormai anche poco costosa, siamo attorno ai centesimi di euro per singola analisi. La MAS è usata per scegliere piante con alleli favorevoli dal punto di vista agronomico, per esempio maggiore resa produttiva, più resistenza ai parassiti, aspetti qualitativi. La presenza di marcatori, zone conosciute di DNA e vicine in sequenza al gene d'interesse, servono come segnale per selezionare le piante, senza aspettare che crescano e manifestino il fenotipo che ci si aspetta. Basta una semplice analisi del DNA.

Ma ormai la MAS serve più come supporto ad altri studi, come l'analisi che consente di localizzare sui cromosomi i *quantitative trait loci* (QTL), cioè tratti di genoma alla base dell'ereditarietà dei caratteri quantitativi, ovvero quelli influenzati da molti geni e dall'ambiente. Una volta localizzati questi tratti in maniera abbastanza precisa sui cromosomi, si può poi procedere alla MAS. Oppure clonare i tratti, come abbiamo fatto qui a Bologna, in un progetto in collaborazione con una ditta privata, per il carattere «precocità di fioritura» in mais, e quindi isolare il gene per usarlo nella ricerca di piante che presentano quel gene da selezionare.

Qual è il contributo della genetica al settore agronomico?

Ormai non si può prescindere dagli studi genetici, e direi più precisamente da quello di genetica molecolare. Il miglioramento, cioè l'identificazione e la selezione di caratteri di interesse agronomico è lo scopo della ricerca in campo genetico-agrario, che ha una dimensione fondamentalmente applicativa.

La genetica molecolare offre soluzioni e risposte alla tutela della diversità. Lo abbiamo visto con lo studio del melo: ora che sappiamo che il melo domestico deriva dal melo selvatico del Kazakistan, sappiamo anche che dobbiamo prenderci cura di quei meli. Ma ovviamente è applicabile a ogni caso, perché se grazie a una mappatura conosciamo quali sono gli organismi selvatici da cui derivano le varietà che usiamo in agricoltura, è più facile preservarli. La genetica ci permette anche una migliore e più specifica selezione. E ovviamente è la porta d'accesso all'ingegneria genetica. Dove si può fare. E non è il caso italiano, purtroppo.

di Letizia Gabaglio

Principi attivi amici dell'ambiente

L'Istituto di ricerche biotecnologiche, in provincia di Vicenza, ha sviluppato un processo ecosostenibile per ottenere sostanze attive vegetali ad alto valore aggiunto

Si può studiare, lavorare, fare business con piante e fiori, in altre parole sfruttarli, in maniera ecologica? Senza cioè raccoglierli o coltivarli in maniera intensiva? Si può. Come dimostra la storia di un'azienda vicentina, l'Istituto di ricerche biotecnologiche (IRB), che riesce a riprodurre in laboratorio principi attivi vegetali con un processo del tutto ecosostenibile. Tanto da aggiudicarsi il Premio Impresa Ambiente 2011. Il segreto è nella tecnologia sviluppata e adottata da questa biotecnologia verde: la piattaforma biotecnologica HTN™ (High Tech Nature), basata sulla tecnica delle colture di cellule vegetali non OGM.

«A partire da un piccolissimo campione di tessuto vegetale riusciamo a sfruttare il meccanismo naturale di riparazione delle cellule staminali, che nel caso dei vegetali si chiamano meristematiche, per farle riprodurre potenzialmente all'infinito», spiega Elena Sgaravatti, *general manager* dell'IRB. «Le cellule vegetali sono fatte crescere in un mezzo nutriente e in condizioni sterili in modo da far loro produrre le stesse sostanze attive che esprimerebbero in natura».

Per esempio l'echinacoside, il principio attivo estratto dall'*Echinacea angustifolia*, noto per aumentare le difese immunitarie. O il verbascoside, che si estrae dalla lillà e ha un'azione antiossidante molto forte, addirittura pari al triplo di quella della vitamina E, una delle sostanze maggiormente attive contro i processi di ossidazione cellulare. E ancora il teupolioside, principio che si trova nella bugola, un'insalata poco usata, che ha effetti antinfiammatori e antiossidanti soprattutto a livello dell'intestino. Gli estratti così ottenuti sono più sicuri rispetto a quelli raccolti in natura perché sono prodotti in condizioni di sterilità, al riparo da contaminanti di qualsiasi genere, dai pesticidi a metalli pesanti alle aflatossine, hanno sempre la stessa purezza e quindi esercitano la stessa azione.

I vantaggi della coltivazione cellulare

Se confrontata con le pratiche agricole tradizionali, infatti, la tecnologia HTN™ consente una riduzione di oltre 1000 volte del consumo di acqua e un'occupazione del suolo di 400 volte inferiore. «Nel caso dell'echinacoside, per estrarlo dalle radici di piante coltivate in campo aperto dobbiamo aspettare tre anni», spiega ancora Sgaravatti, che prima di approdare all'IRB ha lavorato per anni in una grande multinazionale farmaceutica, GlaxoSmithKline. «Per avere un chilogrammo di estratto secco dovremmo occupare circa 1100 metri quadri di terreno, impiegare più di 1300 tonnellate di acqua e 500 chilogrammi di solvente. Lo stesso risultato, grazie a HTN™ si ottiene con tre metri quadri di coltivazione, una tonnellata di acqua e 100 chilogrammi di solvente».

Si eliminano così pesticidi, erbicidi e fertilizzanti, e si riduce l'uso di solventi di estrazione. Il suolo liberato, poi, si può usare per coltivare, per esempio, cereali destinati al mercato alimentare. In questo modo si riescono a ricavare sostanze da piante rare, difficilmente coltivabili, a rischio di estinzione senza arrecare danni all'ambiente.

Insomma, il processo di coltivazione cellulare alternativo alla coltivazione agricola ha così tanti vantaggi dal punto di vista ecologico e ambientale che la FAO ne raccomanda l'impiego fin dal 1994. Troppo costosa per essere sviluppata commercialmente, questa via di produzione di metaboliti e additivi alimentari è stata relegata per anni nei laboratori delle università. «Molti gruppi di ricerca ci hanno lavorato, ma pochi sono riusciti a condurre uno *scale up* di tipo industriale», sottolinea Sgaravatti. «All'IRB è sta-

LA SCHEDA

Istituto di ricerche biotecnologiche

Fatturato
un milione di euro nel 2010

Dipendenti e collaboratori
18 di cui 10 impiegati in ricerca e sviluppo

Investimenti in ricerca
20 per cento dei costi di gestione

Brevetti rilasciati
6 su 13 richiesti

Cortesia Istituto di ricerche biotecnologiche (*foto in questa pagina e nella pagina a fronte*)

Dagli integratori ai cosmetici. La squadra dell'Istituto di ricerche biotecnologiche al completo. Grazie a una piattaforma tecnologica esclusiva, l'azienda di Altavilla Vicentina può ottenere sostanze attive vegetali per applicazioni diverse, tra cui nutrizionale e cosmetica.

to possibile grazie a una squadra di giovani ricercatori estremamente motivati e a collaborazioni importanti con università». Oggi l'azienda di Altavilla Vicentina può vantare una capacità produttiva di biomassa vegetale superiore a 600 chilogrammi al giorno che, grazie ai mezzi tecnologici disponibili, può essere aumentata in caso di necessità.

Diversificare i mercati

Tra i risultati più ambiziosi raggiunti dalla biotecnologia verde c'è la prima autorizzazione a livello italiano ed europeo di estratti vegetali di origine biotecnologica quali ingredienti nutrizionali. Si tratta dell'estratto di *Ajuga reptans* titolato in teupolioside, un prodotto unico, impossibile da ottenere con sintesi chimica, e dell'estratto di *Echinacea angustifolia* titolato al quattro per cento in echinacoside, equivalente per composizione agli estratti tradizionali, ma con un profilo di sicurezza e standardizzazione decisamente superiori.

Ma il lavoro di ricerca dell'IRB non si rivolge solo al mercato degli integratori: gli estratti vegetali sono particolarmente appetibili per la cosmesi. «Offriamo due linee diverse di prodotti: STEMS G e HTN Actives», spiega Sgaravatti. «La prima è composta da preparati a base di cellule staminali vegetali arricchite in fenilpropanoidi, una classe di metaboliti secondari normalmente presenti in piccole quantità nella pianta e coinvolta nella protezione da agenti esterni quali UV e danni meccanici. Nel secondo caso, invece, si tratta di veri e propri estratti secchi titolati e altamente standardizzati. In particolare, Dermasyr 10 è un estratto di lillà titolato in verbascoside indicato per le pelli acneiche e seborroiche, mentre Echigena 25 è un estratto di *Echinacea angustifolia* titolato al 25 per cento in echinacoside, un titolo di principio attivo difficilmente raggiungibile con la metodica tradizionale di produzione».

Fa parte della prima linea di prodotti l'ultimo nato, presentato a marzo in occasione della fiera In-Cosmetics di Milano: un estratto di *Marrubium vulgare* che contiene un fenilpropanoide usato dalla pianta per difendersi dagli stress ambientali. Che se aggiunto a una crema idratante promette di esercitare la stessa azione anche sulla cute. Per una bellezza efficace ed ecosostenibile.

di Elena Castellani
professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

Il secchio di Newton e la metafisica

Il dibattito tra fisica e metafisica in un famoso esperimento dello scienziato inglese

Che cosa s'intenda esattamente per metafisica è una questione controversa, così come è molto discussa la natura della relazione tra fisica e metafisica. Una buona strategia per affrontare problematiche così generali è partire da casi concreti. Per esempio, da questioni d'indubbia rilevanza sia dal punto di vista della fisica sia dal punto di vista metafisico, intendendo «metafisico» nel senso di ciò che riguarda la realtà (gli enti, la loro natura e la loro possibile o reale esistenza) ma che non può essere trattato solo con gli strumenti della scienza e, in particolare, della fisica.

Paradigmatica, in questo senso, è la questione della natura dello spazio e del tempo. Spazio e tempo esistono di per sé, indipendentemente dagli oggetti di cui è popolato il mondo fisico, o esistono solo in quanto relazioni di tipo spaziale o temporale tra questi oggetti? A riguardo, nel gergo filosofico si parla di dibattito tra concezione sostanzialista e concezione relazionale (dello spazio e del tempo). Questo dibattito è poi identificato con quello tra concezione assoluta e concezione relativa, in quanto «assoluto» e «sostanziale» da una parte, e «relativo» e «relazionale» dall'altra, sono termini associati da chi si occupa del tema. Questo avviene anche riguardo le posizioni dei due illustri protagonisti della fase iniziale del dibattito, e cioè Newton e Leibniz: il primo ritenuto il paladino di una concezione assoluta (e sostanziale) dello spazio e del tempo; il secondo, della concezione opposta. Il luogo in cui si articola la discussione tra le due diverse posizioni è il carteggio che Leibniz intrattiene nel 1715 e 1716 con il filosofo e teologo inglese Samuel Clarke, le cui argomentazioni difendono la posizione newtoniana.

Il punto centrale è: quanto ci può dire, la fisica su una questione come quella della natura intrinseca dello spazio e del tempo? Il famoso argomento newtoniano del secchio rotante è proprio un tentativo di risolvere la questione con fatti della fisica. Per Newton, il vero tempo e il vero spazio sono quelli assoluti, dove «assoluto» è inteso nel senso di «senza relazione ad alcunché di esterno». Il vero spazio e il vero tempo non possono dunque essere osservati con i sensi, da cui la necessità di considerare, nella pratica, le loro «misure sensibili», cioè lo spazio e il tempo relativi. L'impossibilità di osservare il tempo e lo spazio assoluti è di fatto il punto davvero critico, e in quanto tale messo in discussione da Leibniz, della concezione newtoniana: perché postulare l'esistenza fisica di qualcosa che non si può osservare e che non ha, apparentemente, effetti sul mondo materiale?

Newton è consapevole del problema e cerca un modo per giustificare, tramite effetti che siano invece osservabili, la necessità dell'esistenza di quantità assolute. La sua soluzione è usare effetti dinamici (i cosiddetti effetti inerziali), quali «le forze di allontanamento dall'asse del moto circolare», attraverso la discussione di alcuni esperimenti. Il più celebre è l'«esperimento del secchio rotante», dove un secchio, pieno d'acqua e sospeso a un filo, è posto in rotazione. Si susseguono tre situazioni: all'inizio, sia il secchio sia l'acqua sono fermi (non c'è moto relativo tra secchio e acqua); poi, il secchio comincia a ruotare, ma il moto ancora non si è comunicato all'acqua, la cui superficie rimane piana (c'è un moto relativo del secchio rispetto all'acqua); infine, il moto di rotazione si è comunicato all'acqua, la cui superficie s'incurva per effetto della forza centrifuga (il moto relativo tra secchio e acqua è di nuovo nullo). La conclusione di Newton dal confronto delle tre situazioni è che il moto relativo dell'acqua rispetto al secchio non può giustificare l'effetto inerziale dell'incurvamento della superficie dell'acqua (visto che il moto relativo è nullo e compatibile sia con la superficie piana sia con la superficie curva dell'acqua): ne segue che l'effetto inerziale è dovuto a un moto non relativo, e quindi a un moto rispetto allo spazio assoluto, il «vero e assoluto moto circolare».

Strumento dimostrativo. Con l'esperimento del secchio rotante pieno d'acqua, Newton ha voluto dimostrare l'esistenza dello spazio assoluto, in contrasto con le teorie metafisiche.

L'argomento del secchio pose un problema per il relazionismo, e Leibniz non rispose in modo efficace. Il dibattito è rimasto vivo nei secoli successivi e si può dire che ancora oggi, nonostante i cambiamenti nella concezione fisica dello spazio e del tempo e i progressi della riflessione filosofica, la questione sia aperta.

Un piccolo motivo per il quale
creiamo pneumatici che si fermano
prima sul bagnato.
BRIDGESTONE

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Un marcatore per il trauma?

Individuata nel sangue una molecola associata al disturbo post-traumatico da stress

Accade purtroppo abbastanza di frequente che qualcuno abbia un'esperienza particolarmente traumatica, per un episodio di guerra o di terrorismo, per un'aggressione, per uno stupro. Alcuni si riprendono bene, mentre per altri la situazione appare seriamente compromessa: rivivono per mesi e anni l'episodio, e lo sognano compulsivamente. La diagnosi in questi casi è di PTSD (*post-traumatic stress disorder*). Non si è mai capito su quale base si fondi questo diverso modo di reagire, ma un recente articolo (si veda Ressler K.J. e altri, in «Nature», Vol. 470, pp. 492-497) apre uno spiraglio sul fenomeno, indicando un possibile colpevole o, almeno, un indiziato.

Nel cervello c'è un piccolo neuropeptide chiamato PACAP (*Pituitary adenylate-cyclase-activating polypeptide*), che ha un recettore chiamato PAC1. Si è osservato che spesso livelli elevati di PACAP nel sangue sono associati nelle donne, ma solo nelle donne, che mostrano un chiaro disturbo psicologico post-traumatico. Che cosa si sa del PACAP? Si tratta di un membro molto conservato della famiglia di piccoli peptidi a cui appartengono secretina e glucagone, e mostra una pluralità di effetti nello sviluppo embrionale, nella segnalazione fra cellule, nel metabolismo e nella sopravvivenza cellulare.

In passato, una serie di esperimenti ha mostrato che PACAP e il suo recettore PAC1 sono sicuramente implicati nella protezione delle cellule dai diversi fattori di stress. Questa osservazione ha suggerito un'analisi ad ampio raggio sulla possibile implicazione di questo sistema in situazioni di grave stress psicologico post-traumatico. La prima osservazione è stata appunto quella di un'elevata concentrazione del neuropeptide nel sangue di donne che si trovano in situazione di stress cronico rispetto ad altre che non hanno subìto traumi o che hanno superato bene gli episodi incriminati.

Si è passati allora allo studio dei due geni implicati, quello che porta alla produzione di PACAP e quello che ne codifica il recettore. Una variante genetica di quest'ultimo sembra associata alla predisposizione per lo stress post-traumatico nelle donne. È interessante notare che la mutazione in questione risiede in un possibile elemento che risponde agli estrogeni. Questa caratteristica potrebbe spiegare perché le donne sono più suscettibili al disturbo post-traumatico rispetto agli uomini, anche a parità di gravità dell'evento scatenante. D'altra parte sappiamo da qualche tempo che ci sono altri fattori predisponenti, come aver subìto maltrattamenti nell'infanzia, avere un ippocampo di dimensioni leggermente ridotte e piccole anomalie nei circuiti cerebrali della paura, che includono amigdala e insula.

Categoria a rischio.
I bambini testimoni di eventi bellici, come questa bambina della striscia di Gaza, sono a forte rischio di disturbo post-traumatico da stress.

Anja Niedringhaus/AP Photo/La Presse

Per ora la conoscenza molto limitata del fenomeno ha impedito di mettere a punto cure e trattamenti specifici. Si intraprendono infatti trattamenti psicoterapici di vario tipo o cure farmacologiche, basate per lo più su antidepressivi che bloccano la ricaptazione della serotonina. Queste pratiche però non hanno effetto su tutti i pazienti e, soprattutto, non siamo in grado di dire in anticipo chi ne beneficerà e chi no, quindi è necessario imbarcarsi in una faticosa serie di tentativi, magari frustranti.

La scoperta di Ressler è stata salutata con notevole interesse, perché potrebbe orientarci nella predizione dell'evento ed eventualmente nella pianificazione della cura. Anche se non si dovesse confermare nella sua interezza, possiamo considerare questa rilevazione come una prova indiziaria del fatto che qualche marcatore biologico di questo fenomeno si può trovare. Dal punto di vista teorico poi, è interessante considerare quanto ancora dobbiamo fare per raggiungere una ragionevole comprensione della fisiologia e della patologia del cervello.

In particolare, per quanto riguarda le piccole o piccolissime molecole che svolgono un ruolo nel nostro sistema nervoso centrale, c'è ancora moltissimo da studiare. Nessuno sa quante saranno e poiché ciascuna in genere ha una molteplicità di recettori, il conto finale delle molecole implicate si presenta ancora molto lontano da quello che ci è dato sapere al momento. E individuandole impareremo certo molte cose interessanti.

Preparati a un'estate da vivere in bellezza.

Informazione pubblicitaria

Vuoi essere pronta per le prime giornate di sole? Con gli epilatori Philips Satin Perfect e con Satinelle Soft le tue gambe saranno sempre perfettamente lisce. Gli epilatori Philips sono ideali per rimuovere in modo efficace e delicato i peli superflui, anche i più difficili da raggiungere e per rifinire le zone più sensibili. In più, dal 15 aprile al 15 agosto, se acquisti un epilatore Philips della linea Satin Perfect avrai in omaggio un buono sconto del valore di 15 o di 20 euro da spendere presso un punto vendita Yamamay nella linea costumi e Beauty. E se acquisti un epilatore Philips Satinelle Soft HP6512 avrai subito in regalo, all'interno della confezione, una crema abbronzante della linea Yamamay Beauty. Accendi l'estate con Philips!

Acquista un epilatore
PHILIPS Satin Perfect
HP6578 - HP6576
HP6574 - HP6570

IN REGALO
UN BUONO ACQUISTO
Yamamay
DEL VALORE DI 15 O 20 EURO

20€
PHILIPS
Yamamay

OPPURE

Acquistando un epilatore
PHILIPS Satinelle Soft
HP6512
UNA
CREMA
ABBRONZANTE
Yamamay
beauty

Operazione valida dal 15 Aprile al 15 Agosto. Regolamento completo disponibile su www.philips.it/estatepilate

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Ippocrate, chi era costui?

Il teorema di Pitagora ha tante dimostrazioni tra cui una di un tale Ippocrate...

Non c'è bisogno di essere matematici, per ricordare l'enunciato del teorema di Pitagora: in un triangolo rettangolo, il quadrato costruito sull'ipotenusa ha la stessa area della somma dei quadrati costruiti sui cateti. Ricordarne una dimostrazione è un'altra faccenda. Ma ce ne sono per tutti i gusti, tanto che tempo fa Elisha Loomis ne ha raccolte quasi 400 nel suo libro *The Pythagorean Proposition*, dovute alle persone più disparate: da Leonardo da Vinci a James Abraham Garfield, ventesimo presidente degli Stati Uniti.

Euclide ne fornisce una classica nella Proposizione 47 del *I Libro degli Elementi*, dimostrando qualcosa in più del necessario: che se si tira l'altezza del triangolo relativa all'ipotenusa, il suo prolungamento divide il quadrato costruito sull'ipotenusa in due rettangoli le cui aree sono uguali ai quadrati costruiti sui corrispondenti cateti (*si veda la figura 1*).

Figura 1

Nella Proposizione 31 del *VI Libro*, invece, enuncia questa interessante estensione del teorema originario: in un triangolo rettangolo, una figura costruita sull'ipotenusa ha la stessa area della somma delle figure simili costruite sui cateti. In realtà, Euclide dimostra soltanto un caso speciale, in cui la figura è una poligonale convessa. Ma il risultato vale in generale, anche per figure curvilinee.

Figura 2

Il primo a estendere il teorema di Pitagora a una di esse fu Ippocrate di Chio: da non confondere con il più famoso medico del giuramento, che era di Kos. Fu proprio Ippocrate a scrivere una prima versione degli *Elementi*, che si pensa Euclide abbia annesso alla propria opera, prendendola come base per i suoi primi quattro libri. E fu sempre Ippocrate a introdurre il problema della quadratura del cerchio, dopo aver usato il teorema di Pitagora per dimostrare che ogni poligonale è quadrabile. Un risultato, quest'ultimo, che si riduce a scomporre la poligonale in triangoli, a far vedere che ogni triangolo è quadrabile, e a usare appunto il teorema di Pitagora per sommare, via via, i vari quadrati così ottenuti.

Figura 3

Naturalmente Ippocrate aveva le sue buone ragioni, per pensare che anche il cerchio fosse quadrabile. Anzitutto aveva dimostrato che l'area di un cerchio è proporzionale al quadrato del suo diametro: dunque, per il teorema di Pitagora, *in un triangolo rettangolo, il semicerchio costruito sull'ipotenusa ha la stessa area della somma dei semicerchi costruiti sui cateti*. Nel caso particolare di un triangolo rettangolo isoscele (*si veda la digura 2*), questo risultato equivaleva alla dimostrazione che la lunetta costruita su un quarto di cerchio è quadrabile: più precisamente, essa equivale al triangolo rettangolo isoscele su cui è costruita.

Ippocrate dimostrò che se lo fosse stata anche la lunetta costruita su un sesto di cerchio, allora anche il cerchio sarebbe stato quadrabile! Quest'ultimo risultato era dunque a portata di mano, o almeno così sembrava. Non sappiamo se Ippocrate si sia mai accorto di un fatto interessante: che se avesse potuto dare una dimostrazione della sua estensione del teorema di Pitagora, analoga a quella di Euclide, il gioco sarebbe stato fatto.

Supponiamo infatti che se si tira l'altezza del triangolo relativa all'ipotenusa, il suo prolungamento divida il semicerchio costruito sull'ipotenusa in due porzioni, le cui aree sono uguali ai semicerchi costruiti sui corrispondenti cateti (*si veda la figura 3*). Allora le lunette costruite sui due cateti avrebbero, ciascuna, la stessa area dei corrispondenti triangoli.

La cosa è effettivamente così quando il triangolo rettangolo è isoscele, come dimostra appunto il risultato originale di Ippocrate. Ma non lo è certo in generale: anzi, oggi si sa che ci sono solo cinque tipi di lunette quadrabili, tre dei quali trovati da Ippocrate stesso. La dimostrazione proposta, invece, ne produrrebbe infiniti tipi diversi: in particolare, quello fatidico costruito su un sesto di cerchio.

Ma la storia della matematica è fatta anche di tentativi falliti, e di congetture verosimili ma false. Come quella della quadratura del cerchio, che si è appunto rivelata insolubile nell'Ottocento. A dimostrazione che la verità e la verosimiglianza possono anche essere parenti, ma non sono la stessa persona.

Danilo Sossi

Focus: consumi da 4.5 a 6.2 litri/100 km (ciclo misto); emissioni CO_2 da 117 a 144 g/km. La vettura in foto può contenere accessori a pagamento.

Feel the difference

ford.it

di Roberto Battiston
Professore ordinario di fisica sperimentale all'Università di Perugia
www.robertobattiston.it

Benzina per l'esplorazione

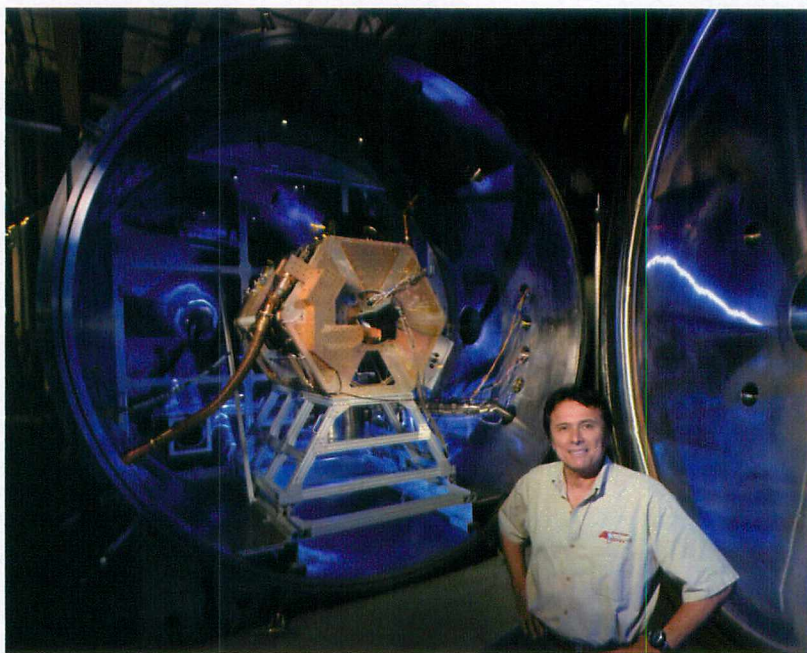
Il futuro dei viaggi spaziali verrà dagli studi di un ex astronauta sui motori al plasma?

La prima volta che incontrai Franklin Chang Diaz, fu nel 1997, quando venne in visita al CERN insieme agli altri membri dell'equipaggio della STS-91, l'ultima missione shuttle verso la MIR, che avrebbe trasportato la versione di prova dell'esperimento AMS. All'epoca, Franklin era già una leggenda, con cinque missioni shuttle alle spalle, un dottorato in fisica nucleare al MIT e una passione per la propulsione spaziale al plasma, per cui aveva fondato uno speciale laboratorio all'interno del Johnson Space Center di Houston: caso unico di astronauta che sviluppa in proprio le tecnologie propulsive per i razzi del futuro.

Sulla Terra non ci preoccupiamo troppo di come muoverci da un punto a un altro. Spingiamo con un piede sul terreno, poi con un altro ed eccoci magicamente raggiungere la meta. Ma nello spazio non c'è terreno, non possiamo camminare, pedalare. Uno degli incubi degli astronauti è rimanere fuori dall'astronave senza un cavo con cui tirarsi per tornare indietro. Non c'è verso di spostarsi se non si riesce spingersi o tirarsi con qualcosa che sia al di fuori di noi.

Oppure si può ricorrere alla seconda legge di Newton, che dice che si può ottenere un'accelerazione anche grazie a una variazione della propria massa, vale a dire lanciando via qualcosa da se stessi. La forza che subiamo in questo caso è pari alla massa che si allontana da noi, moltiplicata per la sua velocità. È grazie a questo principio che i razzi si staccano da terra, le astronavi si muovono nello spazio e gli aerei a reazione riescono a decollare e volare: spingendo via rapidamente della massa. Più è grande la velocità con cui la massa si allontana più è grande la forza generata: nel caso dei razzi, le reazioni chimiche che bruciano il combustibile spingono fuori dal serbatoio una grande quantità (massa) di gas ad alta temperatura che si allontana velocemente.

La quantità di massa che può essere espulsa da un razzo è però limitata per cui conviene trovare il modo di farla uscire alla velocità più alta possibile. Velocità, per un gas, significa temperatura. Per cui occorre scaldare il gas alle più alte temperature possibili, non migliaia di gradi come nelle reazioni chimiche, ma milioni: temperature caratteristiche del plasma, lo stato della materia in cui i nuclei atomici e gli elettroni si sono separati gli uni dagli altri. Un motore al plasma usa molto più efficacemente la massa del combustibile a disposizione, abbattendo anche di dieci volte i costi della propulsione spaziale.

Realizzare un potente motore al plasma non è facile, e Franklin Diaz ci sta lavorando da oltre dieci anni. Dopo avere fatto altri due voli sullo shuttle, agli inizi degli anni 2000 ha lasciato la NASA e ha fondato una ditta, AdAstra, dedicata alla commercializzazione di potenti razzi al plasma. L'ultima volta che l'ho incontrato è stato in aprile, nella sede di Roma dell'ASI, durante una presentazione dei risultati delle sue ricerche. I progressi sono stati straordinari, hanno già messo in funzione un prototipo di motore al plasma da 200 chilowatt, e nel 2014 è prevista l'installazione di un dimostratore sulla stazione spaziale.

Un motore per il Pianeta Rosso. Il VASIMIR (Variable-Specific-Impulse Magnetoplasma Rocket) di Franklin Diaz potrebbe arrivare su Marte in soli due mesi.

cortesia AdAstra Rocket Company

AdAstra è quotata in borsa, poiché le applicazioni di questi motori sono molte e concrete: dalla possibilità di risollevare periodicamente l'orbita della stazione spaziale a una frazione del costo attuale, al lancio di satelliti verso pianeti lontani come Giove a una velocità tale da ridurre di un fattore da due a tre il tempo del viaggio, alla cattura e spostamento di satelliti e frammenti spaziali verso orbite radenti l'atmosfera.

Fino alla possibilità di un futuribile viaggio verso Marte che duri solo due mesi, con motori al plasma alimentati da un reattore nucleare. Quando ascolto Franklin, penso che l'avventura spaziale è solo agli inizi.

enervit comunicazione

La forma più ROCK della Dieta Zona.

Linus - DJ, conduttore televisivo.

L'originale di Barry Sears

ener ZONA®

EnerZona MiniRock 40-30-30

Scopri il piacere di uno snack che non assomiglia a nessun altro: croccanti fiocchi di soia ricoperti di cioccolato che, grazie al bilanciamento 40-30-30 delle calorie provenienti da carboidrati, proteine e grassi, sono ideali per chi segue la Dieta Zona. Il basso indice glicemico e il significativo apporto di proteine favoriscono un piacevole senso di sazietà. Fatti sedurre dalla croccante bontà di EnerZona MiniRock: scoprirai che restare in forma non è mai stato così rock. Nei golosi gusti Noir cioccolato fondente, cioccolato al latte e Lemon. Lo trovi in farmacia.

EnerZona. La nuova alimentazione.

ph. Avi Meroz

Scopri su

"Dieta Zona" e "La mia Dieta Zona".

www.enerzona.com

La ricerca Enervit sostiene principi di alimentazione coerenti con la Dieta Zona.

ENERVIT
Science in Nutrition

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Nuova data per il cranio di Ceprano

Il fossile scoperto nella cittadina laziale è molto più giovane di quanto si pensasse

Ci sono novità importanti, ed è dunque venuto il momento di parlare di Ceprano. Non della cittadina del Lazio meridionale, né del casello autostradale lungo la Roma-Napoli (quello del «vento a raffiche» fra Ceprano e Caianello). Piuttosto, di un luogo a meno di un chilometro dalla riva sinistra del fiume Sacco, quasi alla confluenza di questo fiume con il Liri, e al centro geometrico di un triangolo delimitato fra Castro dei Volsci, Pofi e la stessa Ceprano. In quel luogo - baciato dalla fortuna e battuto dalla tenacia di un cacciatore di fossili nostrano - una domenica di inizio primavera del 1994 Italo Biddittu scopriva i frammenti di un cranio umano fossile, destinato a diventare noto in tutto il mondo (almeno per i paleoantropologi) con il nome di Ceprano.

Qui prese l'avvio un'avventura scientifica che vide coinvolti alcuni membri illustri dell'Istituto italiano di paleontologia umana (o IsIPU); fra tutti, l'anatomo-patologo Antonio Ascenzi (compianto maestro) e il geologo Aldo Segre. In tempi piuttosto rapidi, la piccola squadra fu in grado di recuperare ogni minimo frammento fossile dal sedimento argilloso, di procedere a una prima ricostruzione del cranio, di analizzare con precisione e intuito molti degli aspetti riguardanti sia lo straordinario reperto sia il deposito geopaleontologico che lo aveva custodito per centinaia di migliaia di anni.

Il cranio di Ceprano destò sin dall'inizio un grande interesse nella comunità scientifica internazionale. Per la sua morfologia, che ricorda una forma umana estinta nota in Asia come *Homo erectus* e mai identificata in Europa con altrettanta evidenza. L'interesse era grande anche per la sua antichità, che secondo le prime ipotesi rasenterebbe il milione di anni dal presente. Paradossalmente, proprio in quegli anni era stato proposto che il primo popolamento dell'Europa non fosse stato più antico di mezzo milione di anni. Ceprano - con la sua antichità, condivisa da altri reperti scoperti proprio nello stesso 1994 ad Atapuerca, in Spagna - smentiva clamorosamente l'ipotesi, avendone quasi il doppio.

Passa il tempo e il gruppo di studio dell'IsIPU si allarga a forze nuove, la prima ricostruzione del cranio è corretta e perfezionata, nuovi studi sono pubblicati su importanti riviste internazionali, si fa della divulgazione (anche su «Le Scienze») e si inizia a scavare in modo sistematico nell'area dove il cranio era stato rinvenuto. Capita allora che, recentemente, un dato fondamentale venga stravolto.

Gli scavi a Ceprano hanno mostrano che la vecchia datazione è da rivedere. Quel milione di anni o quasi non regge più all'accumularsi delle prove multidisciplinari. I dati, al contrario, convergono su un'altra data: 400.000 anni fa circa (fra 430.000 e 385.000, per la precisione)! Dunque il cranio di Ceprano perde di importanza? Niente affatto, acquista un significato nuovo e, direi, anche un maggiore interesse.

La sua morfologia, con la vecchia datazione, era già piuttosto dissonante rispetto alle nostre conoscenze. Ora, con la nuova, diventa dirompente, visto che eravamo abituati a pensare che i fossili umani di questa stessa epoca in Europa indicassero un percorso inequivocabile e univoco: la traiettoria evolutiva che porterà alla comparsa dell'uomo di Neanderthal. Bene, il cranio di Ceprano, con la sua morfologia, ci ricorda che non bisogna mai affezionarsi alle ipotesi. Quel cranio non mostra nessuna caratteristica da antenato dei Neanderthal e, con la nuova data, indica che la storia dell'evoluzione umana in Europa deve essere stata più complessa di quanto pensavamo. Insomma, ne dovremo riparlare.

Un fossile enigmatico. Modello della ricostruzione del cranio scoperto a Ceprano nel 1994 su cui si sono basati gli studi più recenti. Il fossile risalirebbe a circa 400.000 anni fa.

BIOCHIMICA

Miller cinquant'anni dopo

Analizzati con tecniche attuali campioni ottenuti dal chimico statunitense nel 1958

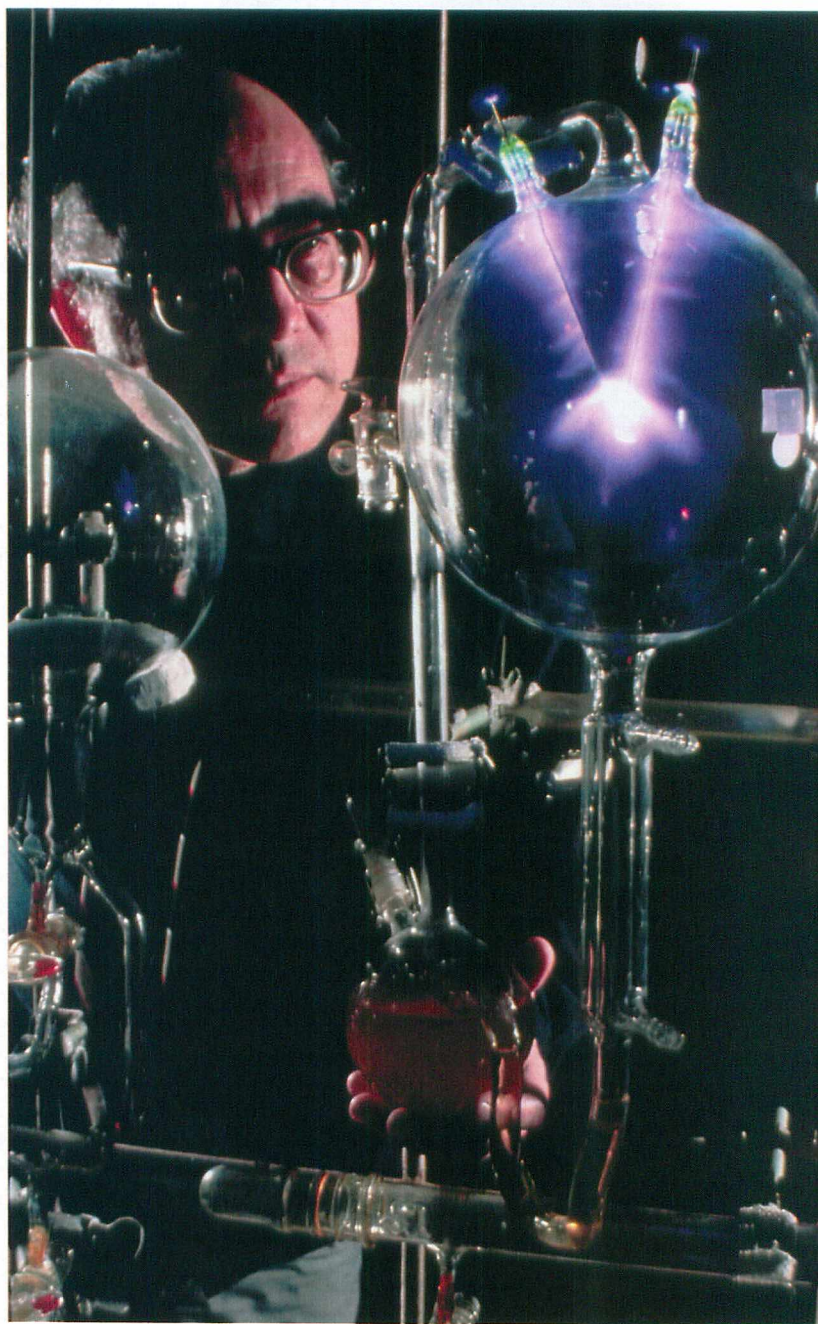
Con i suoi esperimenti del 1953, Stanley Miller dimostrò che i precursori organici della vita possono formarsi tramite ordinarie reazioni chimiche, innescate da alte temperature e da scariche elettriche che simulano i fulmini, nell'atmosfera fortemente riducente della Terra primordiale.

In seguito la visione è cambiata. L'atmosfera prebiotica è ora ritenuta solo blandamente riducente. Inoltre nel miscuglio di acqua, idrogeno, metano e ammoniaca mancavano fonti di zolfo, e Miller non aveva quindi ottenuto amminoacidi solforati come metionina e cisteina, fondamentali nella struttura delle proteine. Varie repliche di Miller e altri studiosi hanno affrontato questi nodi, variando le ricette, con successi parziali. Solo dopo molti tentativi, per esempio, nel 1972 si è ottenuta la metionina. Ma le migliori risposte ai dubbi, con ogni probabilità, le aveva già ottenute Miller stesso. Senza rendersene conto.

Poco dopo la sua morte, nel 2007, il suo allievo Jeffrey Bada ha ritrovato numerose fiale con campioni degli esperimenti del fatti tra 1953 e 1954. Analizzandole con le tecniche moderne, vi ha ritrovato molti più composti di quelli identificati da Miller. Una variante dell'esperimento era di particolare interesse: un ugello iniettava i gas direttamente fra le scariche elettriche, simulando le eruzioni vulcaniche accompagnate da frequenti tempeste di fulmini tra i gas espulsi. Qui Bada ha trovato oltre 20 amminoacidi e parecchi altri composti, contro i cinque amminoacidi individuati da Miller. «Anche se l'atmosfera primordiale era poco riducente, i composti prebiotici possono essersi formati con alta resa in condizioni locali come quelle dei vulcani», concludeva su «Science» nel 2008.

Ma la vera sorpresa era un'altra. Spulciando i taccuini, Bada si è accorto che alcuni campioni risalivano a reazioni condotte da Miller nel 1958 e, chissà perché, mai analizzate. La miscela includeva in questo caso metano, ammoniaca, anidride carbonica e acido solfidrico. E, come ora rivelato sui «Proceedings of the National Academies of Sciences», tra i prodotti abbonda la metionina, che quindi Miller aveva ottenuto già 14 anni prima. Ma l'interesse non è solo storico. La reazione ha prodotto una varietà inedita di amminoacidi e altri composti, molti in quantità superiori, anche di un centinaio di volte, a quanto mai ottenuto prima. Altre molecole d'interesse biologico, inoltre, si sono formate in questi cinquant'anni dalla degradazione dei prodotti primari. Infine, i composti dei prodotti rispecchiano quelli che si ritrovano in un tipo di meteoriti ricchi di sostanze organiche, le condriti carbonacee. «L'esperimento del 1958 può essere un modello della sintesi abiotica avvenuta nei vulcani della Terra primitiva o in altre parti del sistema solare», conclude quindi Bada.

Giovanni Sabato

Roger Ressmeyer/Corbis

Chimico della vita. Stanley Miller fotografato mentre ripropone il famoso esperimento del 1953 con cui ha ottenuto amminoacidi.

ASTROFISICA

Il lungo sonno del Sole

Un modello ha spiegato l'insolito lungo periodo di debole attività solare

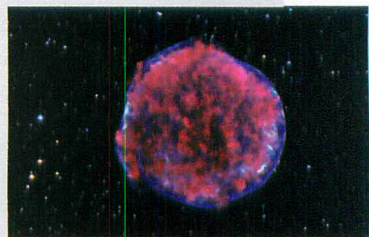
Solo di recente la nostra stella è uscita da un lungo sonno da cui sembrava non volersi più svegliare, e la responsabilità sarebbe della «lentezza» del suo plasma. L'attività magnetica del Sole oscilla periodicamente tra alti e bassi secondo cicli di circa 11 anni. Dal 2001 il Sole si è trovato in una fase di minimo (la peggiore degli ultimi 100 anni) caratterizzata da un campo magnetico debolissimo e pochissime macchie solari. Fase da cui, secondo gli scienziati, sarebbe dovuto uscire nel 2008. Invece ci ha impiegato 15 mesi in più.

La spiegazione, come riportato su «Nature», potrebbe venire da un modello elaborato da un gruppo di ricerca dell'Indian Institute of Science Education and Research di Calcutta. Il modello simula la variazione delle macchie solari al variare della velocità con cui il plasma altamente ionizzato e caldissimo fluisce nel Sole. In particolare riguarda la cosiddetta «circolazione nord-sud» in cui il plasma risalito verso la superficie esterna del Sole porta il campo magnetico dall'equatore ai poli.

In corrispondenza di un flusso molto rapido nella prima parte del ciclo solare, seguito da un flusso più lento nella seconda, il modello prevede che il Sole sprofondi in un periodo di minima attività più lungo del solito. Che è quello che è successo nella realtà.

Stefano Pisani

La sorpresa di Tycho

Chandra, l'osservatorio spaziale per raggi X della NASA, ha osservato «strisce» di emissione di radiazione X nel resto di supernova di Tycho (*nella foto*), esplosa nel 1572 e osservata dall'astronomo danese Tycho Brahe, a 13.000 anni luce da noi. Secondo i ricercatori, queste strisce sono la prova di particelle ad altissima energia e di un'efficiente meccanismo di accelerazione. In particolare le strisce X sono prodotte dalla radiazione di

sincrotrone emessa dagli elettroni, con energie che possono arrivare anche a un teraelettronvolt, nel loro moto elicoidale attorno alle linee dell'intenso e complesso campo magnetico all'interno della nebulosa. Secondo i modelli teorici, la distanza fra una striscia e l'altra è pari alla dimensione delle orbite dei protoni di energia maggiore. A conti fatti, questi protoni avrebbero energie oltre 100 volte quelle ottenibili da LHC. Ma questa è anche l'energia dei raggi cosmici più energetici nella nostra galassia. La prova, quindi, che i resti di supernova sono fra le sorgenti di questi raggi cosmici.

Emiliano Ricci

Vita intorno alle nane bianche?

Le nane bianche potrebbero essere le stelle centrali di sistemi planetari capaci di ospitare la vita. Lo afferma un lavoro pubblicato sull'«Astrophysical Journal». Se l'ipotesi dello studio verrà confermata, si moltiplicherà il numero di sistemi extrasolari dove potrebbero esserci forme di vita, inoltre la scoperta di pianeti in orbita intorno alle nane bianche sarà così facile che si potrebbe realizzare con telescopi di dimensioni ridotte.

Le nane bianche sono la fase terminale del ciclo di vita di una stella con massa minore di circa otto masse solari, che però prima di diventare nana bianca si trasforma in una gigante rossa. Secondo l'autore dello studio, Eric Agol, dell'Università di Washington a Seattle, alcune nane bianche hanno temperature confrontabili con quelle del Sole, e il loro raffreddamento è così lento che per miliardi di anni potrebbero offrire un'eccellente temperatura a un pianeta in orbita. Uno dei problemi di questa teoria è che la gigante rossa – antecedente la nana bianca – impedirebbe la formazione di pianeti. Ma Agol suggerisce che la nana bianca potrebbe catturare un pianeta nel suo campo gravitazionale. Secondo i modelli di Agol, i pianeti abitabili in orbita intorno a una stella di questo tipo avrebbero un anno compreso fra 4 e 32 ore, e mostrerebbero sempre la stessa faccia alla loro stella. Circa il cinque per cento di tutte le stelle sono nane bianche e circa 15.000 si trovano a meno di 300 anni luce dalla Terra.

La probabilità di osservare il passaggio di un pianeta davanti a una di queste stelle (il metodo principale per scoprire un pianeta) è solo dell'uno per cento, quindi si potrebbero trovare al massimo 150 pianeti del genere, alcuni dei quali potrebbero essere abitabili. Inoltre, la scoperta di pianeti in orbita a una nana bianca dovrebbe essere molto più facile. Il diametro di una nana bianca infatti è poco più grande di quello della Terra. Quindi, il passaggio di un pianeta eclisserebbe quasi completamente la sua luce, rendendo molto facile l'osservazione.

Michele Catanzaro

Cortesia STEREO/NASA (*Sole*); cortesia NASA/CXC/Rutgers/K.Eriksen e altri/DSS (*supernova*)

FISICA STATISTICA

Grandi capitoli nel libro della vita

Scoperta una nuova organizzazione strutturale funzionale del DNA umano

Il DNA è suddiviso in enormi «capitoli» formati da decine di milioni di «lettere» (i nucleotidi che compongono il codice genetico). Uno studio pubblicato su «Physical Review E» ha documentato per la prima volta l'esistenza di queste «superstrutture», le più grandi suddivisioni del genoma mai realizzate. Il genoma umano contiene circa tre miliardi di «lettere», cioè i nucleotidi adenina (A), citosina (C), guanina (G) e timina (T). Queste lettere compongono «parole», che costituiscono i geni, frammenti di DNA che contengono le istruzioni per codificare proteine.

Già conoscevamo strutture superiori ai geni, «paragrafi» che contenevano centinaia di migliaia di nucleotidi, noti come isocore. Il nuovo studio, coordinato da Pedro Carpena, della Harvard University e dell'Università di Málaga, ha scoperto strutture ancora più grandi, enormi «capitoli», ciascuno dei quali contiene decine di milioni di nucleotidi e 200 geni in media. Queste strutture sono state trovate con un metodo statistico, basato sulla densità di certe «lettere» nel DNA. In particolare il metodo ha identificato zone particolarmente ricche o povere della coppia di nucleotidi GC. Un aspetto chiave del sistema è stato il confronto tra la sequenza reale di DNA e una artificiale, in modo da escludere interpretazioni sbagliate associate a un eccesso o a una scarsità di GC frutto della casualità. In questo modo, il confronto si è rivelato più efficace.

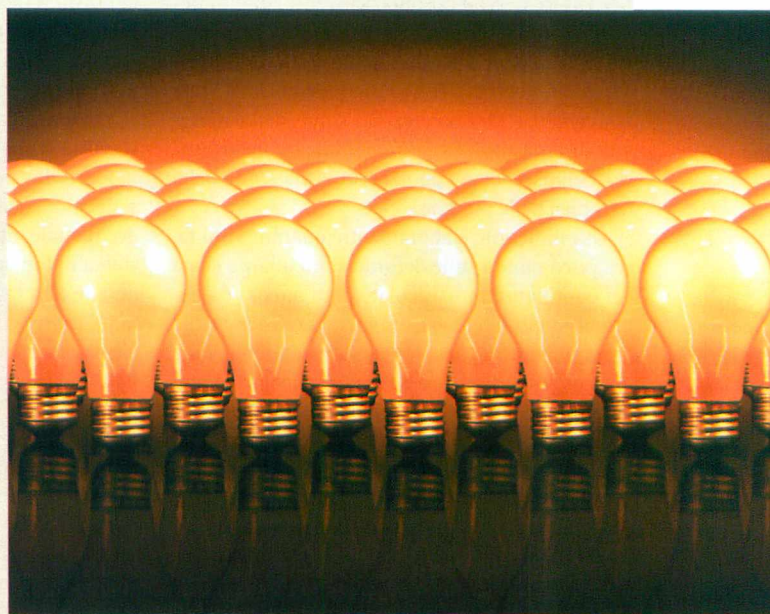
Per verificare che non si trattasse di un'anomalia statistica, i ricercatori hanno studiato se fra i geni che compongono una superstruttura ci sono somiglianze: hanno usato un database che associa a ogni gene un insieme di parole che caratterizzano la sua funzione (per esempio, membrana o metabolismo). Due geni estratti a caso condividono in media sei di queste parole. Due che fanno parte della stessa isocora ne condividono circa 15. Due di una superstruttura ne condividono circa 18. Questa notevole somiglianza fra i geni suggerisce che i capitoli hanno una funzione biologica, ma non è ancora chiaro quale.

Michele Catanzaro

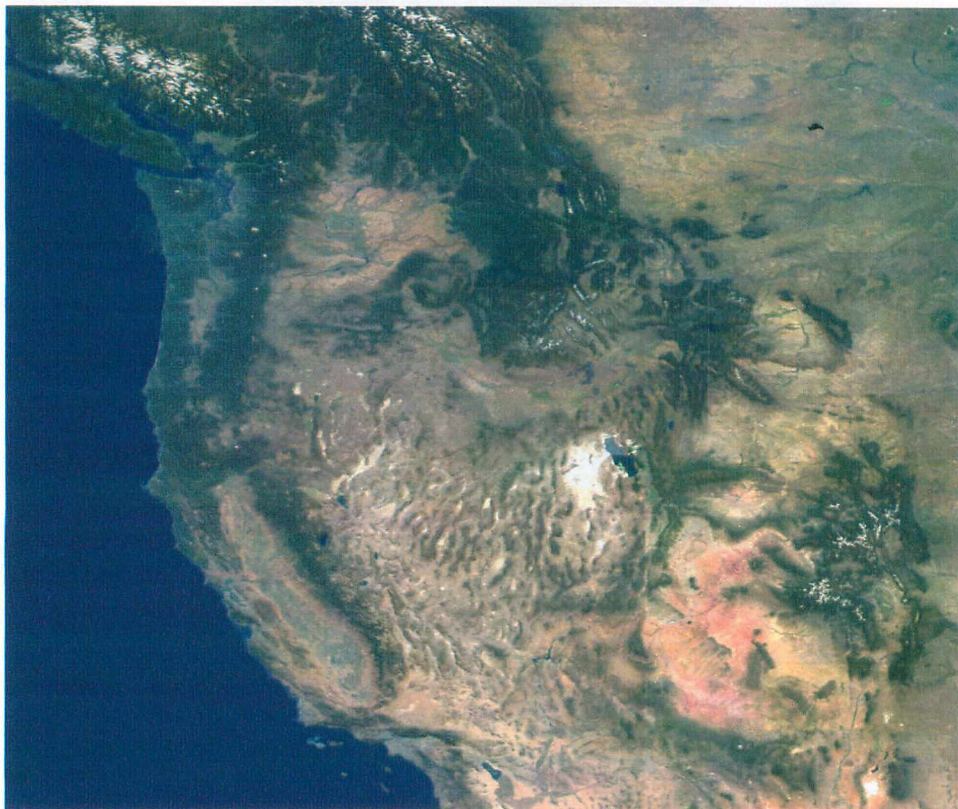
Lampadine a singolo fotone

Che cosa potremmo fare con una sorgente di luce capace di emettere un fotone alla volta? Tra le applicazioni di queste «lampadine quantistiche» ci sarà sicuramente la crittografia quantistica, alla base dei futuri sistemi di sicurezza. Tra le possibili sorgenti a singolo fotone, sono molto promettenti quelle basate su impurità, o difetti, del diamante. In uno studio pubblicato su «Applied Physics Letters», un gruppo di Bristol ha infatti inciso «microlenti» nel diamante per raccogliere la luce prodotta dai difetti reticolari. Con questo grande risultato tecnologico i difetti reticolari diventano ottimi candidati per sorgenti a singolo fotone. A differenza di altre possibili sorgenti, i difetti non richiedono temperature criogeniche o grandi campi elettromagnetici, e possono essere inseriti in strutture macroscopiche facili da manipolare.
Il gruppo di Bristol ha lavorato su impurità di tipo N-V, formate da un atomo di azoto e da una lacuna del reticolo, che per fluorescenza assorbono e riemettono fotoni. Ma la luce emessa è ridotta dalla riflessione e dalla rifrazione nel cristallo. Per questo i ricercatori hanno inciso lenti di pochi micrometri di diametro, capaci di aumentare di dieci volte la luminosità dei difetti reticolari con una precisione di 100 nanometri, un nuovo significativo passo in avanti alla frontiera fra nanotecnologie e ottica quantistica.

Massimiliano Razzano

Rubberball/iStockphoto (*bambina con DNA*); Brandon Alms/iStockphoto (*lampadine*)

SCIENZE DELLA TERRA

Potere del quarzo

Questo minerale sarebbe cruciale per la deformazione dei continenti

I cristalli di quarzo potrebbero essere la chiave per capire perché ci sono ricorrenti zone di debolezza lungo le quali i continenti si deformano. È la scoperta sorprendente fatta da una ricerca dei geofisici Tony Lowry della Utah State University, e Marta Pérez-Gussinyé, dell'Università di Londra. Lo studio, pubblicato su «Nature», chiarisce alcuni punti oscuri della teoria della tettonica delle placche.

Questa teoria, elaborata oltre quarant'anni fa, era poco chiara sulle deformazioni a larga scala dei continenti. In particolare c'era ancora da capire il modo in cui le caratteristiche fisiche della Terra generassero zone di deformazione, perché queste zone fossero spesso alternate a blocchi non deformanti, e per quale ragione i grandi terremoti a volte si verifichino in regioni continentali altrimenti stabili. Uno degli scienziati che avevano contribuito alla teoria della tettonica a placche, il geologo canadese J. Tuzo Wilson, aveva inoltre osservato che le catene montuose e le zone di rift si formavano ciclicamente sempre nelle stesse posizioni; indizio importante, ma a cui non si riusciva ancora a dare la giusta collocazione.

Il quarzo, il minerale più abbondante della crosta terrestre, sembra adesso all'origine del fenomeno, in particolare della formazione delle zone di frattura lungo le quali avviene la deformazione dei continenti.

I due ricercatori hanno realizzato un'indagine su vasta scala in grado di integrare le misure dei rapporti di velocità sismica, di gravità e dei flussi di calore della crosta terrestre della Cordigliera occidentale, quella regione che si estende dal sistema di faglia di San Andreas, in California, fino alle Montagne Rocciose in Wyoming e Colorado. Lowry e Péréz-Gussinyé hanno dimostrato che l'abbondanza in quarzo è collegata a un innalzamento della temperatura della crosta terrestre e a eventi di deformazione, e ipotizzano per questo fenomeno un meccanismo di *feedback*.

In particolare, una deformazione duttile si localizza inizialmente nella crosta terrestre, relativamente debole, ricca in quarzo, quindi hanno inizio processi che promuovono il riscaldamento, il rilascio di acqua e l'ulteriore indebolimento della crosta terrestre.

Laura Caciagli

La gara per la vita di alghe e batteri

Duecentocinquanta milioni di anni fa, massicce eruzioni vulcaniche in Siberia cancellarono quasi tutta la vita sulla Terra. Dopo l'estinzione, i livelli di ossigeno negli oceani rimasero a lungo molto bassi, rallentando la ripresa degli ecosistemi. Ma se per la maggior parte di animali e vegetali ci vollero 5 milioni di anni per riprendersi, alghe e batteri marini impiegarono molto meno.
Uno studio della Stanford University pubblicato su «Earth and Planetary Science Letters» spiega perché. Le eruzioni liberarono molta CO_2 in atmosfera portando all'innalzamento delle temperature; ciò stravolse i cicli idrogeologici, causando maggiori precipitazioni; le piogge acide incrementarono il dilavamento delle terre emerse riversando negli oceani grandi quantità di nutrienti. Grazie al cibo abbondante, alghe e batteri crebbero a dismisura consumando quasi tutto l'ossigeno. Il risultato fu che l'aria divenne irrespirabile per gli altri.
Lo scenario è stato ricostruito studiando la composizione di strati geologici nella Cina meridionale emersi in seguito all'accumulo di depositi sui fondali marini. Visto che alghe e batteri lasciano scarsi fossili, i ricercatori ne hanno dedotto la presenza analizzando gli isotopi carbonio-12 e carbonio-13 nei sedimenti. Gli esseri viventi usano principalmente il primo, e misurando il rapporto tra isotopi si può capire se e quanti microrganismi vivevano un tempo negli oceani.

Martina Saporiti

Galileo

Premio letterario per la divulgazione scientifica

Padova 2011 - V edizione

CERIMONIA FINALE E PROCLAMAZIONE DEL VINCITORE

5 MAGGIO

Centro Culturale Altinate/San Gaetano

http://padovacultura.padovanet.it

PATROCINIO REGIONE DEL VENETO

con il patrocinio di

Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca

Ministero per i Beni e le Attività Culturali

Fondazione Il Campiello

Accademia Galileiana di Scienze Lettere ed Arti in Padova

in collaborazione con

Università degli Studi di Padova

ANCI

UPI

Turismo Padova Terme Euganee

con il sostegno di

con il contributo di

SCHÜCO

Safilo

MAAP

TELECOM ITALIA

con la collaborazione di

BOOKSTORE

media sponsor

SCIENZE COGNITIVE

Il senso dei pulcini per le tre dimensioni

Una ricerca italiana sulla predisposizione innata del cervello per le regole del 3D

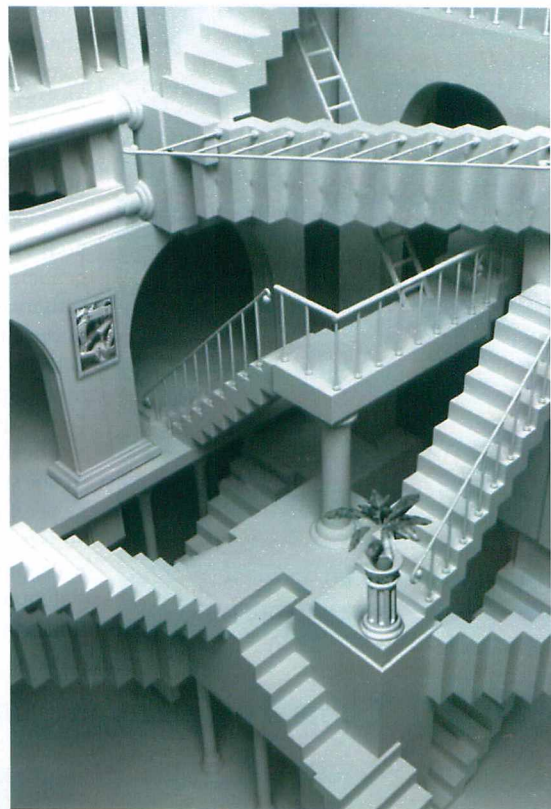
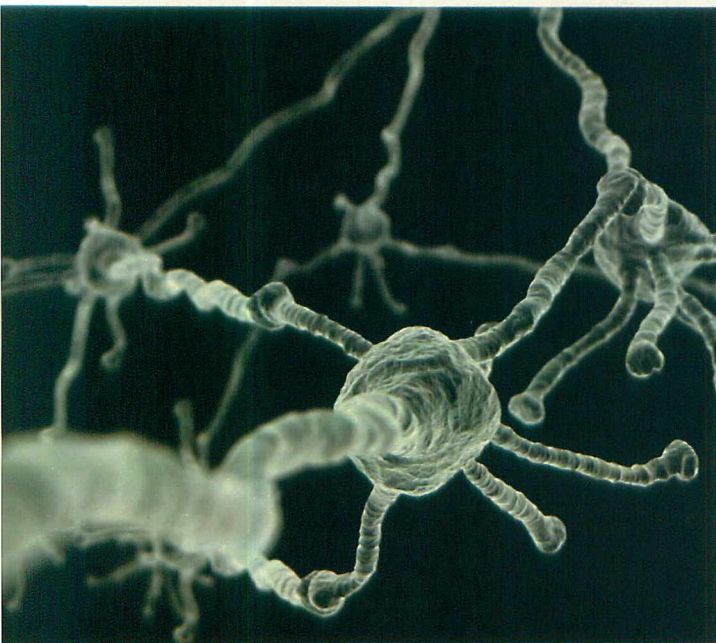
Non c'è nulla di impossibile in una figura impossibile: si tratta solo di disegni (un esempio è l'opera *Concavo e convesso* di Escher in cui sono rappresentate un gran numero di scalinate con prospettive a dir poco audaci), ma dato che il cervello le interpreta come oggetti tridimensionali trova in essi delle incongruenze che destano stupore. Questa funzione è talmente primitiva che sarebbe presente anche nel cervello degli uccelli, fin dai primissimi momenti di vita.

In uno studio pubblicato su «Biology Letters» lo scorso marzo, Lucia Regolin e colleghi del Centro interdipartimentale Mente e Cervello di Trento, hanno tenuto 66 pulcini al buio per 24 ore subito dopo la nascita, per assicurarsi che il loro cervello fosse del tutto scevro da esperienze visive. Li hanno poi disposti a un'estremità di un'area recintata mentre dall'altra parte, in due angoli diversi, si trovavano due disegni: uno rappresentava un cubo normale, l'altro un cubo impossibile la cui sagoma non rispettava le leggi della prospettiva. Due terzi dei pulcini preferiva dirigersi verso il cubo normale, mentre l'altro terzo non mostrava preferenze.

Questo secondo gli autori dimostra che per incorporare le regole della tridimensionalità (e quindi per trovare strani degli oggetti che non le rispettano) non è necessario alcun apprendimento da parte del sistema visivo, e dunque queste regole sarebbero innate.

Se questa capacità è presente negli uccelli fin dalla nascita, che cosa succede nell'essere umano? Studi precedenti dimostrano che anche bambini molto piccoli, di soli quattro mesi, possono distinguere le figure possibili da quelle impossibili ma, come spiega Giorgio Vallortigara, uno degli autori della ricerca insieme a Regolin, hanno avuto parecchi mesi di esperienza con il mondo tridimensionale (e con le sue rappresentazioni bidimensionali).

I risultati sui pulcini, scrivono i ricercatori, suggeriscono che il cervello dei vertebrati può essere biologicamente predisposto verso un'immagine bidimensionale che rappresenta un oggetto tridimensionale strutturalmente plausibile (mentre rigetta una struttura implausibile). Ulteriori studi saranno necessari per confermare questa predisposizione innata anche nell'uomo.

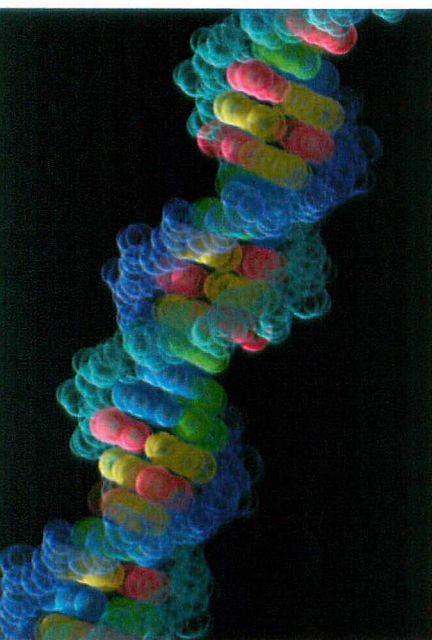
Federica Sgorbissa

Guillermo Lobo/iStockphoto (*scala*); Ben Greer/iStockphoto (*neuroni*)

Neuroni bilingui

Arriva dall'Università di Montreal e dalla McGill University, entrambe canadesi, un'importante scoperta nel campo della neurofisiologia. Due ricerche condotte da Louis-Eric Trudeau e da Salah El Mestikawy hanno portato alla scoperta di neuroni definiti «bilingui», che riescono cioè a usare contemporaneamente due diverse molecole messaggere per comunicare durante la loro attività. Di solito i neuroni usano uno specifico neurotrasmettitore per svolgere le proprie funzioni: per esempio i neuroni dopaminergici, il cui cattivo funzionamento determina patologie come la schizofrenia o il Parkinson, usano la dopamina per scambiare informazioni. Il lavoro dei ricercatori canadesi ha rivelato che questi neuroni utilizzano il glutammato quale secondo trasmettitore, in un fenomeno denominato co-trasmissione. Dato che le due molecole lavorano su scale temporali differenti, i neuroni possono comunicare messaggi diversi simultaneamente. Altri neuroni, detti serotoninergici e deputati al controllo dell'umore e del comportamento, utilizzano, oltre alla serotonina, anche l'acetilcolina. Nel lavoro, pubblicato su «Nature Reviews Neuroscience», gli autori affermano che la scoperta della co-trasmissione potrà aiutare a comprendere i meccanismi di perdita della funzionalità di questi neuroni nelle malattie neurodegenerative e nella depressione.

Paola Nardi

GENETICA

L'importanza del DNA mancante

Un gruppo di sequenze assenti potrebbe spiegare la diversità tra esseri umani e altri animali

In un recente studio pubblicato su «Nature», un team di ricerca della Stanford University spiega come le caratteristiche che ci distinguono dagli altri animali siano dovute a porzioni di DNA che abbiamo perso nel corso dell'evoluzione.

Confrontando il genoma umano con quello di diversi animali (tra cui gli scimpanzé, i macachi, i topi e i polli) David Kingsley e colleghi hanno individuato 510 sequenze assenti nel nostro genoma ma che sono indispensabili e altamente conservate negli altri animali. Non si tratta di geni veri e propri ma di sequenze regolatrici, ovvero porzioni di DNA che non codificano direttamente per una determinata proteina ma che regolano l'espressione di geni a loro contigui.

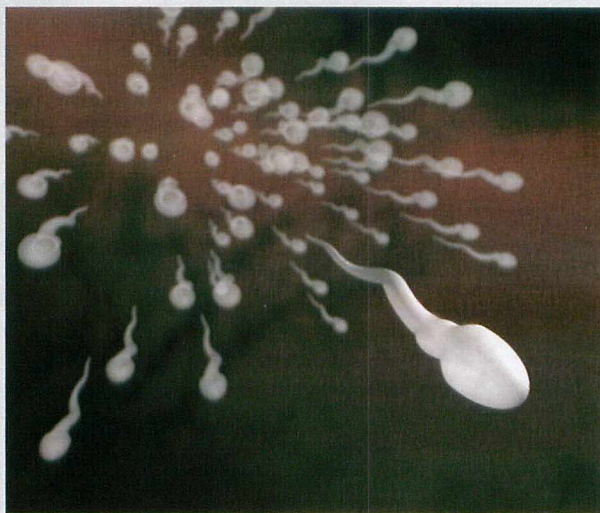
I ricercatori si sono concentrati in particolare su due sequenze: una regola l'espressione del gene per il recettore degli androgeni (*Ar*), l'altra favorisce l'espressione del gene tumore soppressore denominato *Gadd45g*. Il gene *Ar* determina lo sviluppo delle vibrisse sul muso dei topi e delle spine epidermiche sul loro pene. Gli esseri umani, avendo perso la sequenza che induce l'espressione di questo gene, non presentano ovviamente (e fortunatamente!) queste caratteristiche. La perdita delle spine epidermiche sul pene può essere associata con lo sviluppo di una strategia riproduttiva monogama in quanto permette il prolungamento dell'atto sessuale contribuendo a unire emotivamente la coppia e creare il legame necessario per crescere la prole. *Gadd45g*, invece, è un gene regolatore che nei topi e negli scimpanzé inibisce lo sviluppo di alcune regioni cerebrali. La perdita della sequenza che attiva il gene *GAdd45g* ha permesso alla nostra specie di sviluppare funzioni cognitive più elevate come ad esempio il linguaggio e il pensiero cosciente.

Secondo gli autori, la perdita di sequenze regolatrici altamente specifiche non rappresenta l'unica strategia evolutiva adottata, dal punto di vista genetico, nel corso dell'evoluzione. Tuttavia queste mutazioni hanno avuto importanti conseguenze nel miglioramento della nostra specie.

Enrico Properzi

Come il progesterone «incoraggia» gli spermatozoi

Nella vita ci vuole sempre un po' di incoraggiamento. Lo sanno bene gli spermatozoi, che per fecondare la cellula uovo hanno bisogno di una «spinta», nel vero senso della parola. A dargliela è il progesterone rilasciato dalle cellule follicolari intorno all'uovo, che promuovendo l'ingresso di ioni calcio nei gameti maschili stimola il loro movimento verso il bersaglio.

A spiegare il meccanismo del processo sono due ricerche pubblicate su «Nature», la prima da un gruppo dell'Università della California a San Francisco, la seconda da ricercatori del Center of Advanced European Studies and Research e dell'Institute of Complex Systems in Germania. Gli studi sono la risposta a un quesito che da decenni tormenta i biologi: come fa il progesterone a controllare il comportamento degli spermatozoi? La domanda non è peregrina, perché, se è noto che gli ormoni agiscono modulando l'espressione genica, è altrettanto noto che gli spermatozoi hanno un genoma inattivo. Ma è vero che a volte gli ormoni si legano a recettori della membrana cellulare e controllano processi estranei alla trascrizione dei geni.

È il caso del progesterone con gli spermatozoi, dato che l'ormone si limita a promuovere l'ingresso del calcio nei gameti in avvicinamento alla cellula uovo. Nonostante ciò fosse già noto ai biologi, ancora non si conoscevano i dettagli molecolari del processo. Poi, anni fa, si scoprì che sulla membrana delle code degli spermatozoi esistono canali per il passaggio degli ioni calcio chiamati CatSper.

Più di recente, le tecniche di *patch-clamp* per misurare le correnti elettriche attraverso le membrane cellulari sono state usate per studiare gli spermatozoi. Combinando le due cose, i ricercatori hanno scoperto che succede durante la fecondazione: legandosi ai CatSper, il progesterone cambia il potenziale della membrana cellulare degli spermatozoi causando l'apertura dei canali. Ciò porta all'ingresso degli ioni calcio, che a loro volta spingono le code degli spermi a muoversi più velocemente verso la cellula uovo. Come sfruttare la scoperta? Per esempio sviluppando contraccettivi non ormonali che impediscano il legame tra progesterone e CatSper.

Martina Saporiti

Martin McCarthy/iStockphoto (*DNA*); Vergil Kanne/iStockphoto (*spermatozoi*)

SVILUPPO

Cresce l'economia ma la salute non migliora

Gli ottimi risultati economici dell'India non hanno influito sulle condizioni dei più poveri

Nella visione dominante, la via maestra per migliorare la salute in un paese in via di sviluppo è la crescita economica: se il paese si arricchisce, i poveri avranno accesso a cibo, assistenza sanitaria, istruzione. Sembra ovvio, ma non sempre è vero. Senz'altro non in India, come dimostra su «PLoS Medicine» S.V. Subramanian, docente di sanità e sviluppo umano ad Harvard.

Nell'ultimo ventennio, l'economia indiana è cresciuta a ritmi straordinari, spesso oltre il 7 per cento all'anno. Eppure, dal 1992 al 2006 il numero dei bimbi sottopeso è sceso solo dal 49 al 40 per cento, quelli troppo bassi dal 52 al 46, quelli magri in rapporto alla statura (segno di denutrizione acuta) dal 24 per cento al 22. E Subramanian svela ora che anche questo piccolo calo non è legato alle performance macroeconomiche.

I livelli di denutrizione cambiano molto da uno Stato all'altro del subcontinente, come d'altronde la ricchezza. Subramanian ha sfruttato un'indagine nazionale sulla salute delle famiglie per verificare, con una ventina di modelli statistici diversi, se le differenze nei tassi di denutrizione siano imputabili ai redditi medi dei singoli Stati, o alla loro crescita nel tempo.

Alcuni modelli considerano anche fattori individuali, come il reddito o l'istruzione delle famiglie, che mostrano gli effetti attesi: nel 20 per cento delle famiglie più povere, per esempio, il rischio di essere sottopeso è oltre il doppio che nel 20 per cento più ricco. Viceversa, la situazione dello Stato ha un peso scarso o, il più delle volte, nullo. «Con la ricchezza sono cresciute molto anche le disparità», spiega Subramanian. «Probabilmente i più poveri non hanno goduto di una grande crescita del reddito, né di adeguati investimenti pubblici nei servizi loro destinati».

Concorda Kolli Srinath Reddy, della Public Health Foundation of India: «Lo studio non ha verificato fattori come la maggiore sopravvivenza dei bimbi sottopeso, ma la sostanza non cambia: non si può più dare per scontato un nesso automatico tra crescita economica e salute infantile».

Giovanni Sabato

Julie Birch/iStockphoto

Cacao e diplomazia

La diplomazia del cacao è all'opera in una zona che ancora risente degli effetti della guerra civile combattuta il decennio scorso. In Liberia infatti il cacao era un'importante fonte economica per il paese, prima che l'industria fosse spazzata via dalle distruzioni della guerra. Ora è il Ghana, uno dei principali produttori di cacao del mondo, ad aiutare il vicino a ricostruire le sue coltivazioni. I due paesi hanno sancito un accordo per sostenere a vicenda le proprie risorse agricole. In particolare l'Istituto di ricerca sul cacao del Ghana condividerà le sue conoscenze, manderà i suoi agronomi in visita in Liberia, fornendo formazione e supporto. Il programma prevede scambio di piante, che verranno seminate in Ghana e poi spedite in Liberia per essere distribuite agli agricoltori, e di tecnologie. Un altro punto è l'accesso facilitato al credito per gli agricoltori che vogliono ripristinare la coltivazione del cacao in Liberia. In cambio, la Liberia potrebbe aiutare il Ghana a migliorare la sua produzione di caffè, pianta di cui possiede varietà migliori e più diversificate, e su cui gli agricoltori liberiani hanno molta conoscenza da mettere in comune. (AlDe)

Clima: meglio chiamarlo cambiamento

Il sociologo Baruch Fischhoff, della Carnegie Mellon University, invita i climatologi sul numero di marzo di «Nature Climate Change», a farsi aiutare da esperti in comunicazione. E una delle prime strategie comunicative per rendere più convincente il tema del cambiamento climatico, rivela lo psicologo Jonathon Schuldt dell'Università del Michigan in un articolo apparso su «Public Opinion Quarterly», sarebbe smetterla di chiamarlo *global warming*, cioè riscaldamento globale. L'espressione non è solo scorretta scientificamente, visto che il cambiamento climatico può anche provocare episodi locali di raffreddamento anomalo, ma induce allo scetticismo, visto che spesso l'esperienza quotidiana si scontra con quella definizione.

Per dimostrarlo, Schuldt ha intervistato 2267 cittadini degli Stati Uniti, chiedendo a metà di loro se credessero alla realtà del fenomeno del «riscaldamento globale», e all'altra metà alla realtà del fenomeno del «cambiamento climatico». Mentre nel primo caso solo il 68 percento degli intervistati ha risposto «sì», nel secondo la percentuale è salita al 74 per cento. L'influenza del nome è risultata molto forte soprattutto per i repubblicani, fra i quali le percentuali erano rispettivamente del 44 e del 60 per cento, ma quasi nulla fra i democratici, convinti nel 96 percento dei casi, comunque fosse chiamato il fenomeno. (AlSa)

Addio al coguaro

I coguari sono ufficialmente scomparsi. Gli ultimi avvistamenti risalgono agli anni trenta, sono stati dichiarati in via di estinzione nel 1973, a marzo di quest'anno gli scienziati dell'U.S. Fish and Wildlife Service si sono dovuti arrendere all'evidenza e il puma orientale americano, comunemente chiamato coguaro, è stato inserito nella lista degli animali estinti.

«Alcuni testimoni hanno affermato di aver visto coguari – ha spiegato Martin Miller, responsabile delle specie a rischio per il nord-est degli Stati Uniti – ma crediamo che non si tratti proprio del puma orientale americano. Di fatto non abbiamo alcuna informazione a supporto della sua esistenza». Pare che si tratti di alcuni esemplari di sottospecie molto simili, ma che non ci sia più alcuna speranza sull'esistenza del «vero» coguaro. Lo stesso destino toccherà alla pantera della Florida? Gli esemplari di questa specie rimasti sono approssimativamente 150, su un territorio totale che è solo il cinque per cento di quello che abitavano in origine. (SaSt)

Una pellicola contro l'appannamento

Addio occhiali annebbiati dal vapore e vetri di auto e videocamere appannati. I ricercatori dell'Université Laval di Quebec City, in Canada, hanno sviluppato il primo rivestimento permanente antinebbia. Come spiegano nello studio pubblicato su «Applied Materials and Interfaces», ci sono riusciti sovrapponendo quattro strati di molecole di un particolare polimero, l'anidride maleica di polietilene, in grado di legarsi con forza sia alle molecole degli strati adiacenti sia a quelle della superficie da proteggere, assicurando resistenza e durevolezza.

A questo multistrato poi, gli scienziati hanno aggiunto un composto dalle proprietà idrofiliche e antinebbia. La pellicola ottenuta impedisce la formazione delle gocce di vapore acqueo sulle superfici senza modificarne le proprietà ottiche. «Diversamente dai trattamenti esistenti, che non resistono ai lavaggi e quindi devono essere applicati regolarmente, il nostro rivestimento è permanente», sottolineano i ricercatori canadesi.

Numerose le potenziali applicazioni: i parabrezza dei veicoli, le visiere di protezione, le lenti di fotocamere e videocamere, strumenti ottici usati in medicina e chimica e le lenti correttive degli occhiali da vista. (CaVi)

Ewen Cameron/iStockphoto (*cacao*); Marcia Straub/iStockphoto (*coguaro*); Jelena Veskovic/ iStockphoto (*vetro appannato*)

L'emissione ordinata del buco nero

Nelle vicinanze di un buco nero ci si aspetterebbe un comportamento caotico delle particelle. Per la prima volta è stato invece osservato un buco nero che emette fotoni che escono in modo «ordinato», a causa del campo magnetico in cui è immerso. A ospitare questo fenomeno assolutamente eccezionale è il sistema binario Cygnus X-1, composto da una stella e da un buco nero che ruotano intorno al «baricentro» del sistema. Dalle vicinanze del buco nero escono raggi gamma i cui fotoni non si sparpagliano in modo caotico come si attenderebbe ma, come riportato su «Science», sembrano orientati nella stessa direzione.

Le osservazioni compiute dal francese Institut de récherche sur les lois fondamentales de l'Univers di Saclay grazie al telescopio Ibis a bordo del satellite Integral dell'ESA, l'agenzia spaziale europea, hanno permesso di documentare il fenomeno e di ipotizzare una spiegazione. A polarizzare i raggi gamma sarebbero getti di particelle relativistiche che si trovano nei pressi del buco nero. «Viene così dimostrato per la prima volta che il buco nero è immerso in un campo magnetico che genera fotoni di altissima energia, tramite un processo fisico chiamato "radiazione di sincrotrone", capace di ordinarli», ha spiegato Pietro Ubertini, responsabile scientifico italiano di Integral. (StPi)

Un sismografo «fossile»

Un innovativo strumento messo a punto da geologi e fisici dell'Università di Tel Aviv potrebbe rivelare molto dei terremoti passati e aiutarci a prevedere quelli futuri. L'invenzione del cosiddetto «sismografo fossile» è stata ispirata dallo studio di uno strano fenomeno di «onda», un disturbo nella stratificazione dei sedimenti nell'area del Mar Morto, direttamente proporzionale all'intensità del sisma.

Applicando i principi di base dell'attrito e dell'instabilità di Kelvin-Helmholtz, che descrive una teoria della turbolenza nei fluidi, i ricercatori hanno considerato la geometria delle forme nei sedimenti e l'hanno combinata con diversi altri parametri fisici per calcolare la scala, l'epoca e l'origine dei terremoti del passato. A differenza dei normali sismografi, lo strumento può indagare terremoti avvenuti molto più di un secolo fa, ma solamente in zone ricche di corpi d'acqua come laghi o mari, e aiutare a capire i fattori di rischio quando si programmano nuove centrali idroelettriche. (EuMe)

La fine della sonda Stardust

Dopo più di dieci anni di onorata carriera si è conclusa l'avventura di Stardust, la cacciatrice di comete della NASA. Lanciata nel 1999, dopo un viaggio di miliardi di chilometri, lo scorso 24 marzo la sonda ha acceso per l'ultima volta i motori, consumando tutto il carburante rimasto nei suoi serbatoi. Si è chiusa così una missione di grande successo, che ha ottenuto importanti risultati scientifici. Nel 2004, Stardust ha raccolto per la prima volta campioni di polveri della coda di una cometa, la Wild 2,

poi paracadutati sulla Terra con una capsula nel 2006. E appena a febbraio scorso, ha incontrato un'altra altra cometa, la Tempel 1, per analizzare il cratere d'impatto creato nel 2005 dalla sonda Deep Impact, che non era riuscita a scattare foto a causa delle polveri che si erano sollevate.

I compiti della Stardust, tuttavia, non sono finiti. Gli ultimi dati, inviati prima che anche la radiotrasmittente fosse spenta per evitare possibili interferenze nelle comunicazioni con altre sonde, serviranno a calcolare meglio i consumi di carburante in assenza di gravità, a vantaggio delle future missioni, mentre Stardust è ormai un relitto che vaga tra la Terra e Marte. (DaPa)

La Nebulosa Tarantola secondo Hubble

Catalogata inizialmente come stella, la Nebulosa Tarantola (NGC 2070) è una delle nebulose diffuse più estese. Questo è il motivo per cui è oggetto di ricerche, condotte anche con il telescopio spaziale Hubble, che di recente ha prodotto un'immagine ad altissima risoluzione della sua regione centrale (*foto*). La Nebulosa Tarantola, che deve il nome al suo aspetto, non appartiene alla Via Lattea, ma a una galassia satellite, la Grande Nube di Magellano, che dista da noi 180.000 anni luce. Al suo interno, oltre a una grandissima quantità di stelle in formazione, si trovano anche alcuni resti di supernova, fra cui NGC 2060, che avvolge la pulsar più brillante conosciuta, e il resto della supernova SN1987a, la supernova esplosa più vicino a noi dall'invenzione del telescopio.

Il gas della nebulosa – sostanzialmente idrogeno – è eccitato e ionizzato dall'intensa radiazione ultravioletta emessa dalle giovani stelle dell'ammasso stellare RMC 136, con un'età di pochi milioni di anni e al cui interno si trovano alcune fra le stelle più massicce conosciute, fra cui quella più massiccia in assoluto, RMC 136a1, le cui 300 masse solari iniziali mettono a dura prova le teorie sulla formazione stellare. (EmRi)

Alexander Fortelny/iStockphoto (*stazione sismografica*); NASA, ESA (*nebulosa*); NASA (*Stardust*);

La colonna sonora dell'universo

L'osservazione delle elusive onde gravitazionali con nuovi e sofisticati esperimenti potrebbe finalmente farci ascoltare il «concerto dei suoni cosmici»

di Bernard Schutz e Stefano Vitale

La fine dell'era del muto si avvicina anche in astronomia. Con lo sviluppo e il lancio di LISA, una missione spaziale che ESA e NASA hanno studiato per molti anni, la ricezione dei potenti «suoni» emessi dall'universo, le onde gravitazionali, aprirà una nuova dimensione nel nostro studio del cosmo. Di LISA e delle onde gravitazionali si parla, anche sulle pagine di «Le Scienze», già da qualche anno, ma negli ultimi tempi una messe di nuovi studi ha prodotto risultati sorprendenti sull'impressionante concerto di suoni cosmici che ci si aspetta di ascoltare.

Fu Einstein, con la sua teoria della relatività generale, a capire che quando grandi corpi celesti lontani da noi si muovono accelerando uno rispetto all'altro, per esempio quando due stelle ruotano una intorno all'altra in un sistema binario, il cambiamento della loro gravità ci raggiunge sotto forma di onde che si propagano alla velocità della luce: le onde gravitazionali.

È simile a quanto avviene con il campo elettromagnetico emesso dalle particelle cariche in accelerazione, campo che si propaga sotto forma di onde elettromagnetiche. Come le onde elettromagnetiche, quelle gravitazionali portano via energia al sistema di corpi che le genera. Grazie a questo abbiamo potuto verificarne l'esistenza, avendo scoperto un sistema binario di stelle di neutroni che perde energia per emissione di onde gravitazionali, in perfetto accordo con la previsione di Einstein.

Usando le onde elettromagnetiche, abbiamo imparato a «guardare» il cielo usando occhi sempre più sensibili, dai radiotelescopi ai telescopi per raggi gamma. Però molte cose nell'universo non si vedono; gli enormi buchi neri al centro delle galassie, per esempio. Ma, nel loro moto, anche i corpi invisibili emettono onde gravitazionali, che attraversano qualunque forma di materia e arrivano fino a noi da qualunque parte dell'universo siano state emesse.

L'analogia con il suono è efficace. Se stando in una foresta tropicale potessimo solo vedere la vegetazione, senza sentire l'intenso concerto di suoni emessi dalla ricchissima fauna o dai corsi d'acqua, per noi la foresta rimarrebbe, forse per sempre, un mondo vegetale largamente disabitato.

L'urlo della gravità

La gravità è una forza elusiva da rivelare, sia perché è debole sia perché nella gravità tutto cade con la stessa accelerazione, come si accorse Galileo osservando oggetti di composizione e massa diverse lasciati cadere dalla torre di Pisa. Così noi tutti, con il nostro pianeta, seguiamo la stessa orbita intorno al Sole, «cadendo» tutti insieme nella sua gravità: in un laboratorio terrestre, di primo acchito, della

Bernard Schutz è direttore dell'Albert Einstein Institute di Potsdam, in Germania, cofondatore del progetto LISA e uno dei *principal investigator* di GEO600, un rivelatore terrestre di onde gravitazionali. Nel 2006 ha ricevuto la medaglia Amaldi della Società italiana di relatività generale e fisica della gravitazione.

Stefano Vitale è ordinario di fisica all'Università di Trento e incaricato di ricerca dell'INFN. È inoltre *principal investigator* di LISA Pathfinder e membro dell'International LISA Science Team.

IN BREVE

Uno dei grandi obiettivi della cosmologia è riuscire a osservare le onde gravitazionali, che con un'analogia si possono paragonare a potenti suoni emessi dal cosmo.

Per ora i ricercatori sono riusciti solo a osservare gli effetti indiretti di queste onde elusive, ma fino a oggi nessuno strumento appositamente costruito è stato in grado di rilevarle direttamente.

Nella caccia alle onde gravitazionali, ESA e NASA hanno pianificato una missione chiamata LISA, da Laser Interferometer Space Antenna.

Composta da una costellazione di tre satelliti in orbita intorno al Sole, collocati ai vertici di un triangolo equilatero, LISA cercherà di rilevare le onde gravitazionali generate da sorgenti di diverso tipo, sia galattiche sia extragalattiche.

gravità del Sole non c'è più traccia. A guardar meglio, però, questa gravità è un po' più forte nei punti sulla Terra più vicini alla stella, e più debole in quelli più lontani e, puntando verso il centro del Sole, ha direzioni leggermente diverse in punti lontani fra loro sulla Terra. Esercitando forze diverse in punti lontani fra loro, queste piccole differenze creano piccole distorsioni della Terra, le maree. Maree più intense sono create dalla Luna, che è molto più vicina, secondo lo stesso meccanismo. Dunque, in un laboratorio che orbita liberamente nello spazio l'unico effetto rivelabile della gravità dei corpi celesti è la marea. Questo vale anche per le onde gravitazionali: l'effetto del loro passaggio è di esercitare forze di marea, accelerando, ciascuna rispetto alle altre, particelle libere lontane fra loro.

Questa è la chiave per costruire un «orecchio» che senta le onde gravitazionali. In LISA, per esempio, tre coppie di piccole masse d'oro e platino, di due chili ciascuna, orbitano liberamente intorno al Sole a 5 milioni di chilometri una dall'altra (*si veda il box a fianco*). Un interferometro laser misura la velocità relativa delle masse nella coppia usando l'effetto Doppler, in maniera molto simile a quanto fa il radar dell'autovelox per misurare la velocità di un'automobile. Il passaggio dell'onda gravitazionale causa un'oscillazione della loro velocità relativa che viene misurata dal «radar» laser. Non sono grandi velocità: parliamo di variazioni non più grandi di 10^{-12} chilometri all'ora, vale a dire un millesimo di miliardesimo di un chilometro all'ora! LISA può misurare queste variazioni se avvengono in meno di tre ore e non sono più rapide di dieci secondi; variazioni più rapide o più lente si perdono nei disturbi.

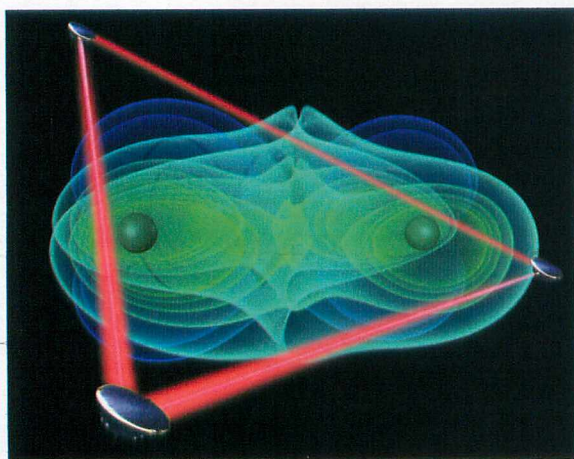
La costellazione dei tre satelliti di LISA. Il centro della costellazione segue la Terra nella sua orbita. Le dimensioni del Sole e quelle di LISA nella figura sono approssimativamente in scala. I 5 milioni di chilometri di lato faranno di LISA l'oggetto più grande del sistema solare; in questa stessa scala, la Terra sarebbe invisibile nella figura.

SOLE
Diametro 1,39 milioni
di chilometri

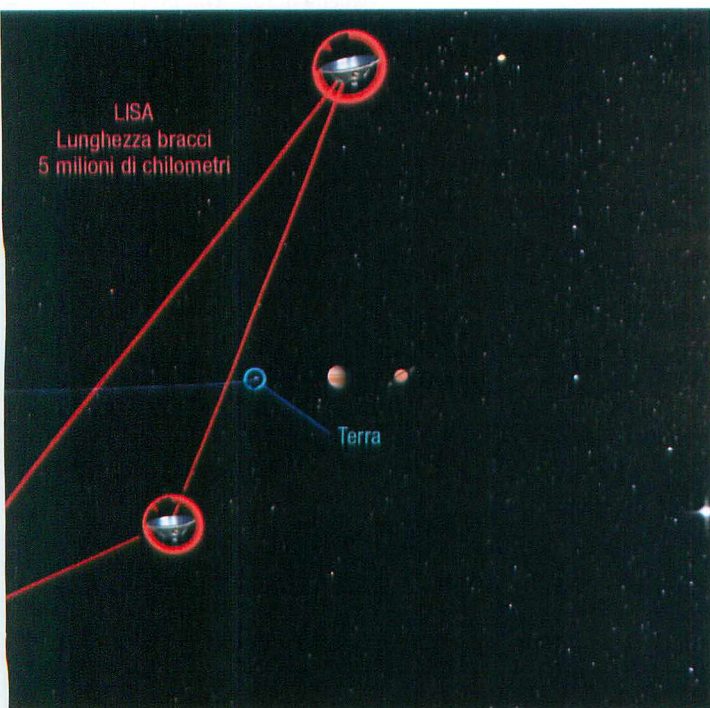
Ma torniamo ai suoni dell'universo. Oggi sappiamo che al centro di molte galassie, se non di tutte, ci sono oggetti invisibili e di grande massa. Per esempio vediamo le stelle nel centro della Via Lattea orbitare intorno a un corpo invisibile e dalle loro orbite possiamo dedurre che il corpo ha una massa di un po' più di 4 milioni di volte quella del Sole. Nel loro moto attraverso l'universo, le galassie possono avvicinarsi l'una all'altra così tanto che i loro buchi neri possono entrare in orbita uno intorno all'altro formando un sistema

L'ESPERIMENTO LISA

Un «orecchio» per i suoni del cosmo

LISA è una costellazione di tre satelliti in orbita intorno al Sole. La meccanica celeste consente, inclinando e sfalsando opportunamente le orbite, che i tre satelliti rimangano, senza bisogno di propulsori, sempre ai vertici di un triangolo equilatero di 5 milioni di chilometri di lato, che ruota sia intorno al Sole che intorno al proprio centro con un periodo di un anno.
All'interno di ciascun satellite ci sono due masse cubiche di oro e platino di quasi cinque centimetri di lato e due chili di massa. Il fondamento di LISA è la misura della velocità relativa di due di queste masse: ma non quelle presenti nello stesso satellite, bensì due che si trovano in satelliti diversi, a 5 milioni di chilometri una dall'altra, ai due estremi di uno dei lati del triangolo. L'onda gravitazionale fa oscillare la velocità relativa delle due masse e dunque anche la loro distanza.
Per non avere errori, lungo la direzione della linea che congiunge le due masse deve essere consentito solo all'onda gravitazionale di indurre un'accelerazione relativa delle masse stesse. Per ottenerlo, ciascuna massa galleggia libera senza toccare il satellite in cui si trova. Per evitare che il satellite la urti, la sua posizione viene misurata di continuo, e un sistema di micropropulsori forza il satellite a rimanere centrato rispetto alla massa lungo la direzione della misura di velocità.

Il gioco è delicato: perché LISA funzioni secondo le specifiche, qualunque forza non gravitazionale su una delle masse deve essere contenuta a meno di 100 miliardesimi di miliardesimo del peso che ha sulla Terra. La misura di velocità si effettua con un metodo simile a quello degli autovelox. In LISA il fascio radar è sostituito da un fascio laser, e lo spostamento Doppler della frequenza dovuto ai cambiamenti di velocità è misurato da un sofisticato interferometro che confronta la frequenza del fascio laser che è partito con quello che è tornato.
Lo strumento è molto sensibile. In termini di distanza fra le masse, misura variazioni di millesimi di miliardesimi di metro o meno, su una distanza di 5 milioni di chilometri, una variazione relativa di meno di una parte per mille miliardi di miliardi. LISA è stata studiata in grande dettaglio da vari team dell'ESA, della NASA e delle industrie aerospaziali. Le parti essenziali della sua tecnologia sono state già sviluppate sia in connessione con LISA Pathfinder (*si veda il box a p. 45*) sia in applicazioni dedicate. La missione è dunque tecnicamente pronta per essere realizzata e lanciata.

LO SPETTRO DELLE ONDE GRAVITAZIONALI

Le linee colorate orizzontali nel grafico indicano l'intervallo di frequenze in cui sono visibili i segnali delle sorgenti di onde gravitazionali. LISA le osserverà tutte, meno quelle di dimensioni «stellari» che emettono alle frequenze cui sono sensibili gli osservatori terrestri. Le onde dell'universo primordiale dovrebbero lasciare traccia anche nelle irregolarità del fondo cosmico di microonde. Infine, usando le pulsar come orologi di precisione, si dovrebbero vedere le onde gravitazionali con periodi di anni, come deboli fluttuazioni nel periodo di queste stelle.

binario. Di queste «galassie binarie» ne vediamo diverse, e possiamo dunque stimarne l'abbondanza.

Un sistema binario di buchi neri così massicci è un'intensissima sorgente di onde gravitazionali. Inizialmente i due buchi neri orbitano lentamente uno rispetto all'altro. Già in questa fase il sistema emette onde molto intense. Poi la perdita di energia fa cadere progressivamente un buco nero dentro l'altro, e i due girano sempre più velocemente. Le onde emesse da un sistema binario hanno un periodo che è la metà del periodo di rivoluzione del sistema. Dunque, mentre i due buchi neri seguono una traiettoria a spirale viaggiando l'uno verso l'altro, il periodo dell'onda diminuisce e la sua frequenza aumenta. Alla fine i due buchi neri si fondono, emettendo un gigantesco fiotto di onde in questa coalescenza finale.

Questi segnali sono così intensi che molti di essi sono «udibili» da LISA dovunque siano stati emessi nell'universo, almeno per masse comprese fra 10.000 e 100 milioni di volte la massa del Sole. In più, poiché – come detto – la frequenza delle onde aumenta progressivamente, tutte le binarie di buchi neri, da quando si formano a quando collassano in un unico buco nero, a un certo punto emettono onde alle frequenze rivelabili da LISA. Dunque LISA ne sentirà di ogni grandezza e dovunque nell'universo, misurando, dall'«urlo» gravitazionale emesso, massa, e velocità di rotazione di ciascuno dei due buchi neri, e velocità di rivoluzione di uno intorno all'altro.

Ma osservare un oggetto lontano nell'universo vuol dire andare indietro nel tempo, e dunque le centinaia di questi sistemi che LISA dovrebbe rivelare costituiranno una specie di spettacolare «stratigrafia» del cosmo, permettendo di ricostruirne buona parte della storia naturale. I grandi buchi neri, e le loro galassie, si sono formati per la fusione a due a due di buchi neri più piccoli? Qual è stata la sequenza e da quali progenitori originari si sono formati i primi buchi neri? E cosa è successo alle galassie che li accompagnano durante la coalescenza finale ? In buona sostanza, in che modo si è formato l'universo come noi lo conosciamo?

Non è tutto. Spesso accade che i buchi neri al centro delle galassie inghiottano stelle di vario tipo o anche piccoli buchi neri di massa paragonabile a quella del Sole o poco più grandi. L'intensa forza gravitazionale presente nelle vicinanze del buco nero centrale distrugge le stelle normali, soggette, a causa delle estese dimensioni, a un'intensa distorsione di marea.

Non è così per un oggetto compatto qual è un piccolo buco nero. Esso rimane intero, compiendo decine di migliaia di orbite di-

sordinate e sempre più vicine al mostro, finché, improvvisamente, vi sparisce dentro. La scomparsa è improvvisa, perché l'essenza propria del buco nero è che esso è delimitato da una superficie nettissima, l'orizzonte degli eventi: tutto ciò che attraversa l'orizzonte è perso per sempre. Nulla può uscirne, neanche la luce. Si tratta di una previsione della relatività generale che passa sotto la colorita espressione che i buchi neri «non hanno peli» (*no hair theorem*), cioè non c'è nulla che spunti dal loro interno.

Mentre il nostro piccolo buco nero compie queste spettacolari evoluzioni, ci invia un complesso e ricchissimo «canto del cigno» gravitazionale. Da questo segnale possiamo ricostruire una mappa del campo gravitazionale del buco nero centrale vicinissimo all'orizzonte degli eventi, in maniera analoga a quanto facciamo oggi con il campo gravitazionale della Terra con missioni spaziali appositamente progettate. Poi improvvisamente il canto cessa. Da questo, ma anche dall'analisi del segnale emesso, avremo dimostrato, e con notevole precisione, che l'oggetto al centro della galassia è effettivamente un buco nero standard e che il *no hair theorem* – per ora solo una ragionevole ipotesi – è vero.

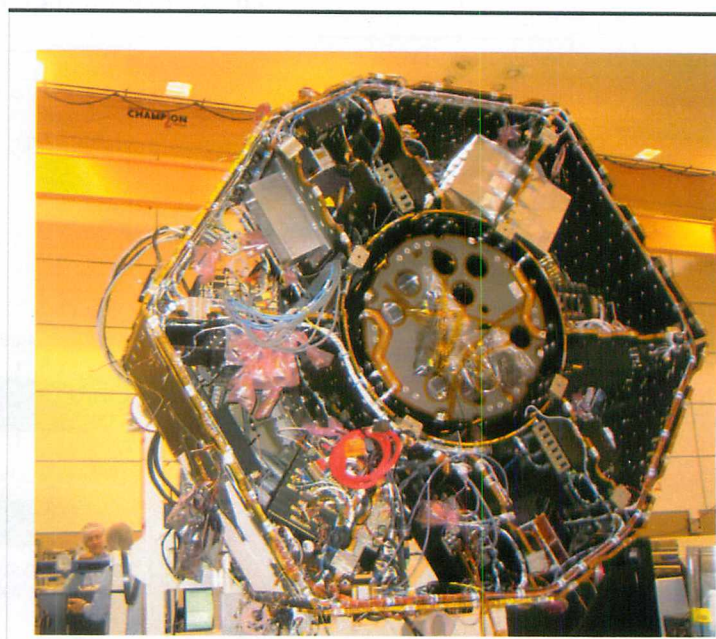
LISA osserverà migliaia di questi eventi, e non sappiamo se tutti mostreranno che l'oggetto al centro delle galassie ha un orizzonte degli eventi. La relatività generale non proibisce che esistano anche punti dove il campo gravitazionale cresce all'infinito ma che non si trovino all'interno di un orizzonte degli eventi, le cosiddette singolarità nude. Un'ipotesi forte nella nostra visione dell'universo è che esista una «censura cosmica» e che tutte le singolarità siano pudicamente nascoste dietro un orizzonte. LISA ci dirà se è vero. Dall'osservazione di questi eventi impareremo inoltre molte altre cose, per esempio la natura e la popolazione di stelle nella zona delle galassie nelle vicinanze del buco nero, la dinamica intorno al cuore della nostra stessa galassia e così via.

Sirene e mormorii

LISA è uno strumento molto preciso. Per i segnali più intensi, consente di identificare la posizione della sorgente nel cielo con una precisione di 0,05 gradi. Inoltre, da pochi semplici parametri del segnale – la frequenza, la velocità con cui la frequenza aumenta a causa della perdita di energia, l'ampiezza misurata dell'onda – riesce a misurare con precisione la distanza della sorgente da noi.

Gli astronomi hanno identificato una serie di stelle, che chiamano candele standard, di cui si conosce così bene l'intensità luminosa da poterne calcolare la distanza, e dunque la distanza della galassia cui appartengono. I segnali gravitazionali delle binarie di buchi neri sono vere e proprie «sirene standard», la cui distanza, e la distanza dalla galassia in cui si annidano, può essere giudicata dall'intensità del suono che udiamo.

L'interesse di questo fatto in cosmologia è difficile da sopravvalutare. Una delle più importanti scoperte degli ultimi anni è che l'espansione dell'universo a partire dal big bang è andata apparentemente accelerando, un effetto spiegato oggi con l'esistenza di un'energia oscura che pervade il cosmo. Si tratta di uno dei temi più appassionanti della cosmologia contemporanea, e sono state programmate diverse missioni spaziali per misurare con cura la storia di questa espansione. La misura più importante è proprio quella della dipendenza della velocità di fuga delle galassie dalla loro distanza da noi. Il segnale gravitazionale non permette di misurare anche la velocità di fuga, ma la precisione angolare nell'identificare la sorgente è sufficiente a restringere molto l'insieme delle galassie visibili, di cui conosciamo già la velocità di fuga, a cui può appartenere il buco nero che emette il segnale. Un po' di analisi statistica farà il resto, e consentirà a LISA di misurare la curva distanza-velocità di fuga con precisione paragonabile alle migliori missioni, e indipendentemente da esse, aprendo l'era della cosmologia gravitazionale.

Astrium Ltd. (*LISA Pathfinder*)

Quando i buchi neri al centro di due galassie si fondono, emettono un gigantesco fiotto di onde gravitazionali

LISA vedrà molte altre cose, per esempio i segnali di migliaia di stelle binarie compatte nella nostra galassia. Alcune decine di queste stelle le osserviamo anche con i normali telescopi; dall'osservazione delle altre, gli astronomi si aspettano importanti scoperte sulle proprietà di questi oggetti. Che tipo di stelle sono? Nane bianche, stelle di neutroni o gli onnipresenti buchi neri? E che massa hanno? E ancora, si scambiano materia? Inoltre, dall'abbondanza delle diverse specie si attendono importanti informazioni sulla storia della formazione della Via Lattea.

Poiché queste sorgenti sono numerosissime, molte non potranno essere distinte una dall'altra, creando un fondo di onde indistinte dalle proprietà interessanti: il mormorio della Via Lattea. Ma LISA potrebbe sentire un altro mormorio nel cielo, di provenienza molto più remota. Oggi osserviamo un fondo cosmico di microonde nell'universo, residuo fossile del big bang, il cui studio ha portato una grande rivoluzione nella nostra visione del cosmo. Questa radiazione è stata emessa circa 380.000 anni dopo il big bang, quando l'universo è diventato trasparente alla radiazione elettromagnetica. A quel tempo, l'universo era caldissimo, circa 3000 gradi, la radiazione era fatta di luce non molto diversa da quella del Sole e il cosmo era già piuttosto grande, una cinquantina di milioni di anni luce, ma 1000 volte più piccolo di ora. Poi l'universo si è espanso, e la radiazione «raffreddata», e il fondo di microonde che vediamo oggi è quello che emetterebbe un corpo a circa −270 gradi Celsius.

Tuttavia, l'universo è stato in pratica sempre trasparente alle onde gravitazionali. Le onde con le frequenze più basse osservabili

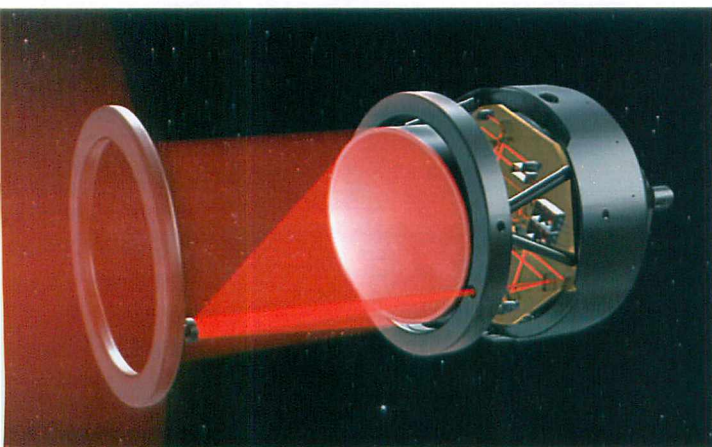
LISA Pathfinder e la scienza dell'immobilità

Le masse di oro e platino di LISA non devono essere accelerate da nulla che non siano le onde gravitazionali. Per ottenerlo, bisogna avere grande cura nell'eliminare le forze di disturbo non gravitazionali. Le accelerazioni risultanti sono così basse che se due delle masse agli estremi di un braccio di LISA venissero fermate una rispetto all'altra a un certo tempo rimarrebbero immobili per un bel po', spostandosi di meno di un miliardesimo di metro in un paio d'ore.

Una gran quantità di informazioni sperimentali dice che questa grande «immobilità» è possibile. Tuttavia, dimostrarlo in laboratorio non è possibile a causa della gravità terrestre. Se provaste a lasciare libera una delle masse di LISA in laboratorio, ovviamente vi cadrebbe sui piedi. Il punto è così critico che l'ESA ha deciso di dedicare una missione a verificare sperimentalmente la possibilità dell'immobilità a questi livelli. Il metodo in linea di principio è molto semplice: si mettono in orbita due delle masse di LISA, ma questa volta non a 5 milioni di chilometri una dall'altra, bensì molto più vicine, meno di un metro. Se veramente le forze di disturbo non gravitazionali sono così deboli, le due masse dovrebbero rimanere ferme una rispetto all'altra con il grado di immobilità richiesto.

L'esperimento LISA Pathfinder (*foto a fianco*) è proprio questo: due delle masse di LISA si trovano all'interno di un unico satellite, nella sua parte centrale e più protetta. Come in LISA, le masse non toccano il satellite, che si riposiziona continuamente per evitare di sfiorarle. Ancora come in LISA, un interferometro laser misura la velocità relativa delle due masse. Questo sistema, due masse libere e un interferometro laser che misura la loro velocità relativa, è in pratica una versione in miniatura di uno dei «bracci» di LISA.

Tutto cospira ad accelerare le masse di LISA imitando le onde gravitazionali: dagli urti con le rare molecole di gas che si muovono disordinatamente intorno alle masse alle variazioni della forza di gravità generata dal satellite. Gli scienziati hanno un modello di questi disturbi, e uno degli scopi della missione è verificare se il modello è giusto, se capiamo abbastanza della «scienza dell'immobilità» da non trascurare qualche disturbo che potrebbe compromettere il successo della missione.

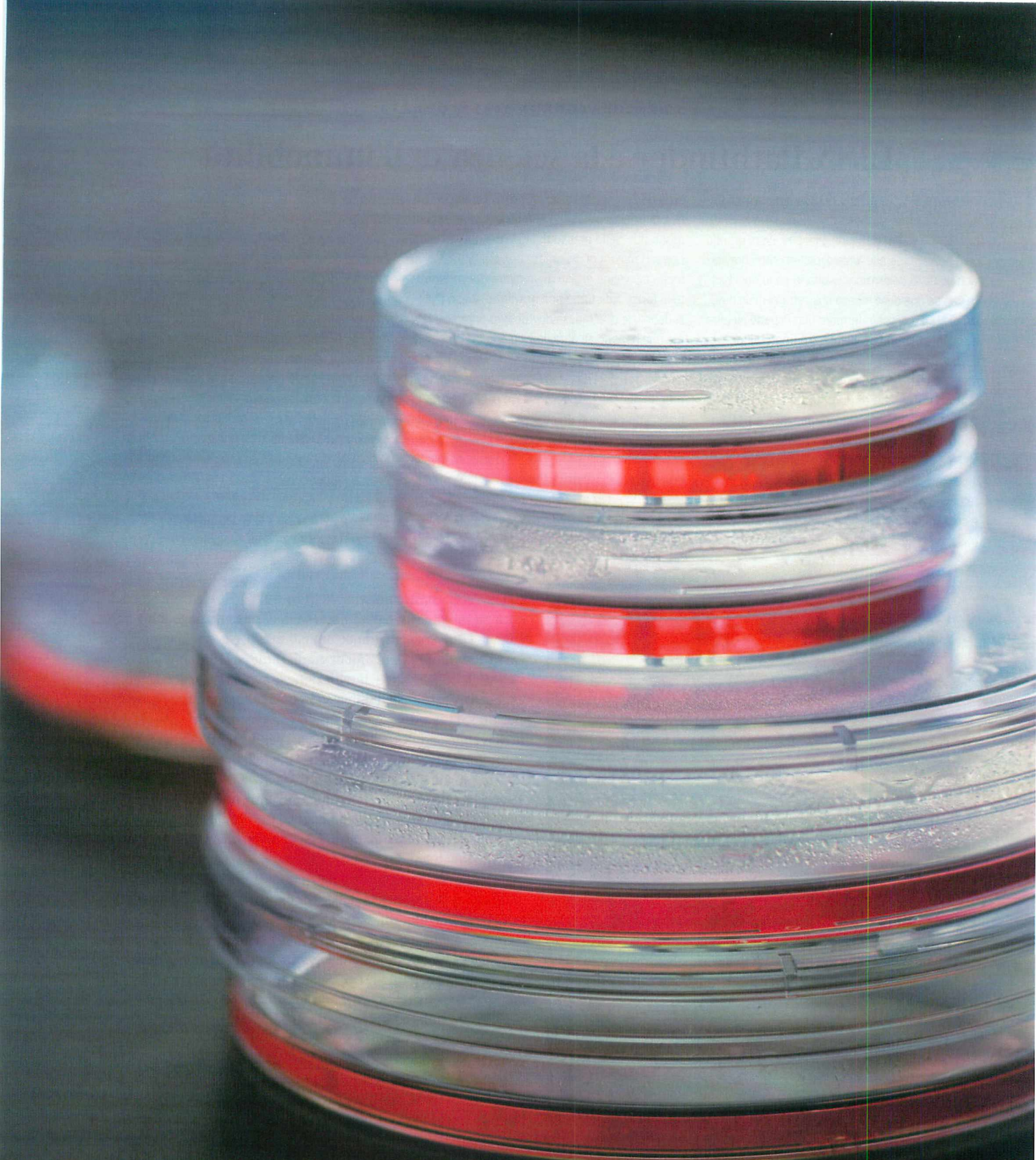
L'esperimento è quasi pronto al lancio, manca solo qualche componente su si concentrano gli sforzi degli ingegneri. Quando anche queste parti saranno state integrate nel satellite, l'«esploratore» di LISA partirà verso il cielo per mostrare che lassù si può stare veramente immobili.

Uno dei telescopi usati per inviare e ricevere i fasci laser usati nella misura di velocità. Sotto, lo strumento scientifico completo contenuto in uno dei satelliti di LISA. I due telescopi sono racchiusi nelle loro coperture termiche. Le masse di prova sono all'interno della parte grigia e non sono visibili.

da LISA sono state emesse molto prima di quelle elettromagnetiche, circa un miliardesimo di miliardesimo di secondo dopo il big bang, quando l'universo era grande un millimetro, e la sua la temperatura era di 10 milioni di miliardi di gradi. Dunque LISA potrebbe osservare un fondo cosmico di radiazione gravitazionale che ci racconterebbe la struttura dell'universo in quei primi istanti.

Non sappiamo se questo fondo è abbastanza intenso da essere rilevabile da LISA. Alcuni modelli degli istanti iniziali prevedono un fondo intenso; per esempio i modelli basati sulla teoria delle stringhe, forse la più studiata tra quelle che cercano di spiegare unitariamente le interazioni fondamentali che conosciamo, predicono l'esistenza di oggetti chiamati superstringhe cosmiche. Questi oggetti, «stirati» dall'espansione dell'universo, emetterebbero onde gravitazionali con uno spettro caratteristico e identificabile senza ambiguità. Se LISA rivelerà questo mormorio sarà la prima prova osservativa dell'esistenza delle stringhe, una rivoluzione nella fisica delle interazioni fondamentali.

Infine, anche dalle nostre parti la gravità non è così quieta. Non sono onde gravitazionali, ma le variazioni della gravità dovute alle oscillazioni dell'interno del Sole potranno essere rivelate da LISA con grande sensibilità, offrendo un modo completamente nuovo per scoprire come è fatta la nostra stella. Inoltre il passaggio di asteroidi vicino a LISA darà segnali rivelabili, contribuendo allo studio di questi oggetti, interessanti ma potenzialmente pericolosi.

L'ESA e la NASA sono alle prese con la pianificazione delle grandi missioni scientifiche per i prossimi anni, fra cui LISA ha un posto di primo piano. L'importanza della missione è tale che l'ESA, insieme alle agenzie di molti paesi europei, fra cui l'ASI, l'Agenzia spaziale italiana, e la tedesca DLR, ha dedicato un'intera altra missione, LISA Pathfinder (*si veda il box in alto*), a verificare il funzionamento delle parti più cruciali di LISA.

LISA Pathfinder è ora in avanzato stato di sviluppo, in attesa del completamento delle ultime, critiche parti della strumentazione. Quando LISA Pathfinder avrà dato il segnale di via, LISA potrà essere lanciata, e l'*ouverture* solenne dell'universo invaderà prepotentemente l'astronomia. ■

Queste cellule staminali crescono per 30 giorni in un mezzo di coltura (*in rosso*) per poi diventare tessuti specializzati da usare come modello di varie malattie.

Fotografie di Grant Delin

MEDICINA

Malattie in provetta

Un uso creativo di cellule staminali ricavate da tessuti adulti promette di accelerare lo sviluppo di farmaci per patologie debilitanti

di Stephen S. Hall

Stephen S. Hall, giornalista e saggista, ha descritto i primi passi della ricerca sulle cellule staminali nel volume *I superfarmaci dell'immortalità* (Orme Editore, 2005).

Il 26 giugno 2007 Wendy Chung, direttore della genetica clinica alla Columbia University, andò in visita in una casa del Queens, a New York, per porre una richiesta piuttosto delicata a due anziane signore croate appartenenti a una famiglia piuttosto sfortunata. Doveva domandare alle due sorelle, una di 82 e l'altra di 89 anni, se erano disposte a donare qualcuna delle loro cellule cutanee per un esperimento ambizioso e dall'esito incerto, ma che, se avesse avuto successo, avrebbe portato un doppio vantaggio. In primo luogo avrebbe accelerato la ricerca di terapie per la malattia incurabile che ricorreva nella loro famiglia. Inoltre, avrebbe dimostrato un nuovo importante uso delle staminali, cellule non specializzate in grado di dare origine a molti altri diversi tipi cellulari.

Le due sorelle soffrivano di sclerosi laterale amiotrofica (SLA), un disturbo nervoso degenerativo che porta lentamente a paralisi, noto anche come morbo di Lou Gehrig, dal nome del giocatore statunitense di baseball a cui fu diagnosticata nel 1939. La sorella più anziana mostrava pochi sintomi di malattia, mentre la più giovane faceva fatica a camminare e a deglutire. Benché la maggior parte dei casi di SLA non sia ereditaria, il disturbo aveva colpito diversi componenti della famiglia, vale a dire quelli che avevano ereditato una mutazione che è stata collegata a una forma a progressione più lenta rispetto a quella che aggredisce la maggior parte dei malati. Chung aveva seguito il disturbo attraverso più generazioni della famiglia, in Europa e negli Stati Uniti. «Il morbo di Lou Gehrig non è un bel modo per morire», spiega Chung. «Ogni volta che i membri della famiglia si ritrovano ai funerali, i più giovani si guardano attorno e si domandano: "Sarò io il prossimo"?».

Le due anziane signore accettarono volentieri la proposta, e la biopsia fu effettuata immediatamente. Bastarono un paio di minuti per prelevare il frammento bioptico dalla parte interna del braccio: due minuscoli tondini di pelle, ciascuno del diametro di tre millimetri. In seguito le cellule delle due sorelle, insieme a campioni cutanei di decine di altri pazienti con SLA e di volontari sani che avevano donato frammenti di tessuto, sono state indotte chimicamente a diventare una specie di cellula staminale nota con il nome di cellula staminale pluripotente indotta, e sono state riprogrammate per diventare cellule nervose, più specificamente neuroni motori, le cellule nervose che controllano direttamente o indirettamente i muscoli del corpo e che sono colpite dalla SLA. Le colture ricavate da queste cellule mostravano gli stessi difetti molecolari che avevano dato origine alla SLA nei loro donatori umani. In altre parole, i ricercatori erano riusciti, in misura davvero sorprendente, a ricreare la malattia in una capsula Petri. Con quelle cellule a disposizione potevano iniziare a studiare con precisione che cosa non funziona nei neuroni dei malati di SLA, e iniziare uno screening di potenziali farmaci in cerca di effetti utili sulle cellule malate.

Questo uso delle cellule staminali è nuovo, e contrasta con la deludente lentezza dei progressi ottenuti finora nei tentativi di usare direttamente le staminali come terapia. Il successo del concetto di «malattia in provetta» potrebbe accelerare la comprensione di molte patologie, e condurre a uno screening più rapido e più efficiente di potenziali terapie farmacologiche, dal momento che gli scienziati potrebbero testare le sostanze terapeutiche in queste colture su misura, per valutarne efficacia e tossicità. Oltre agli studi sulla SLA, attualmente le cellule staminali indotte sono usate in via sperimentale per realizzare modelli di decine di malattie, fra cui l'anemia falciforme, altre patologie ematiche e il Parkinson. Alcuni ricercatori tedeschi, per esempio, hanno prodotto cellule cardiache che battono a ritmo irregolare, mimando diverse aritmie cardiache. Le aziende farmaceutiche, interessate da tempo allo sfruttamento commerciale delle cellule staminali, stanno iniziando a prestare attenzione all'approccio della «malattia in provetta», perché completa i tradizionali punti di forza della ricerca farmacologia industriale.

Il primo risultato dell'esperimento con la SLA è stato pubblicato nel 2008. Come per molte innovazioni, il successo non dipendeva solo dalla solidità dell'idea, ma anche dalla giusta combinazione di persone che la portavano avanti. In questo caso il gruppo, oltre a Chung, includeva Lee I. Rubin, un esule dell'industria biotech responsabile della medicina traslazionale allo Harvard Stem Cell Institute, e Kevin C. Eggan, un giovane scienziato di Harvard esperto in cellule staminali, che stava collaborando con Christopher E. Henderson e altri esperti di neuroni motori alla Columbia.

Un nuovo ruolo per le staminali

Le cellule staminali usate in questi studi non vanno confuse con le staminali embrionali, quelle che si ottengono dagli embrioni a uno stadio di sviluppo precoce. Una decina d'anni fa James A. Thomson e i colleghi dell'Università del Wisconsin a Madison entusiasmarono il mondo annunciando di aver prodotto per la prima volta in laboratorio cellule staminali embrionali umane. Quelle cellule primordiali avevano la capacità biologica di rinnovarsi per sempre, e la versatilità per trasformarsi in qualsiasi specie cellula-

IN BREVE

Ancora in attesa. Le cellule staminali embrionali sono potenzialmente utili per trattamenti contro malattie incurabili, ma finora non si sono avuti significativi progressi nel ricavarne applicazioni terapeutiche.

Una nuova idea. Anziché concentrarsi sulle cure, alcuni ricercatori ritengono che le cellule staminali siano più utili – almeno per ora – nello screening di farmaci e per studiare in che modo malattie diverse danneggiano l'organismo.

Un approccio creativo. Fino a poco tempo fa le cellule staminali necessarie per indagare questa ipotesi provenivano da embrioni. Ma nel 2007 gli scienziati sono riusciti a riprogrammare cellule umane adulte ritrasformandole in cellule staminali.

Cellule staminali su misura. I ricercatori stanno usando queste cellule riprogrammate in modo da ricreare varie malattie su una piastra di coltura. Quindi possono testare farmaci potenziali su questi campioni di tessuto rimodellati.

Crioconservazione: i tessuti prelevati nelle biopsie e le cellule staminali vengono conservati in azoto liquido.

re del corpo. La possibilità di usare cellule staminali per realizzare trapianti su misura per qualsiasi malattia, dal Parkinson al diabete, illuse medici, ricercatori, grande pubblico e, soprattutto, malati affetti da patologie incurabili.

Ma all'orizzonte si profilavano due sgradevoli realtà. In primo luogo, un veemente dibattito pubblico sull'etica della ricerca sulle staminali politicizzò la scienza e rallentò gli studi; la tecnologia sollevava questioni etiche poiché, per raccogliere le staminali embrionali, era necessario distruggere embrioni umani. Il dibattito culminò con l'annuncio del presidente George W. Bush, nell'agosto 2001, che i National Institutes of Health avrebbero finanziato soltanto ricerche che usavano un limitato numero di linee staminali embrionali umane già esistenti, ostacolando di fatto la produzione di ulteriori cellule staminali, incluse linee cellulari specifiche per malattie.

In risposta, eminenti ricercatori di Harvard, della Columbia University e di Stanford, assieme a gruppi di supporto ai pazienti come Project ALS e la New York Stem Cell Foundation, organizzarono laboratori separati e «non presidenziali» per proseguire le ricerche con finanziamenti privati. Nel 2009 l'Amministrazione Obama ha reso meno restrittiva la regolamentazione della ricerca sulle staminali, ma una sentenza federale del 2010 ha proibito ancora una volta i finanziamenti da parte dei National Institutes of Health, precipitando il settore nell'incertezza scientifica e nel caos finanziario.

Il secondo problema era di natura scientifica. Come ricorda Valerie Estess, direttore scientifico di Project ALS, ci fu una corsa folle per testare l'idea che le cellule specializzate ottenute dalle staminali si potessero semplicemente trapiantare nei malati come terapia cellulare per curare un gran numero di malattie. «Il grande sogno – spiega Estess – era ottenere neuroni motori a partire da cellule staminali, per trapiantarli nel cervello o nel midollo spinale nella speranza che i pazienti si alzassero e iniziassero a ballare il twist». Ma la cosa non funzionò in ripetuti esperimenti su animali. «Gli esperimenti fallirono dal primo all'ultimo».

Nel 2002 Thomas M. Jessell, Hynek Wichterle e i loro gruppi della Columbia University pubblicarono un articolo fondamentale su «Cell» in cui elencavano in dettaglio gli ingredienti e il protocollo per avviare le staminali embrionali in un percorso biochimico per formare neuroni motori. Un ricercatore che vide in quel lavoro la promessa di un uso differente delle cellule staminali fu Rubin. Specializzato in neuroscienze, all'epoca Rubin era responsabile scientifico di un'azienda di biotecnologie del Massachusetts, la Curis. Si rese conto che ricreare una malattia in una piastra di coltura era un metodo potenzialmente rivoluzionario per scoprire farmaci. E a differenza di molti scienziati universitari aveva una certa competenza in fatto di scoperte farmacologiche.

Saputo dei risultati di Jessell e Wichterle, Rubin tracciò il *business plan* di un nuovo genere di istituto per lo studio delle staminali, «un istituto che non si sarebbe concentrato – dice – sulla terapia cellulare che interessava in quel momento ai biologi, ma sull'uso delle staminali per scoprire farmaci». L'idea non trovò investitori, così Rubin continuò a occuparsene alla Curis, lavorando sull'atrofia muscolare spinale, una malattia infantile dei neuroni motori che mostra segni patologici simili a quelli della SLA. Quando la Curis abbandonò il progetto, nel 2006, Rubin lasciò l'azienda e proseguì le ricerche all'Harvard Stem Cell Institute.

Poco dopo un biologo dell'Università di Kyoto, Shinya Yamanaka, sviluppò una tecnica che avrebbe trasformato sia la biologia delle cellule staminali sia la politica che le riguarda. Nel marzo 2006, durante un convegno a Whistler, nella British Columbia, descrisse una procedura che permetteva di prendere normali cellule adulte di mammifero e «riprogrammarle». In sostanza, Yamanaka aveva resettato biochimicamente le cellule adulte riportandole a uno stadio simile a quello embrionale o staminale, senza la necessità di usare o distruggere un embrione. A queste cellule diede il nome di «staminali pluripotenti indotte», o iPS. Un anno dopo, Yamanaka e Thomson riferirono separatamente di aver ottenuto cellule iPS da tessuti umani (si veda *La cura che viene da dentro*, di Konrad Hochedlinger, in «Le Scienze» n. 503, luglio 2010).

Uno dei partecipanti al convegno di Whistler era Eggan, un esperto di riprogrammazione cellulare di Harvard, che aveva iniziato a studiare una propria versione dell'idea di «malattia in provetta», avviando vari studi per prendere una cellula adulta e forzarla biochimicamente a tornare a uno stadio simile a quello embrionale, permettendole di replicarsi e raccogliendo cellule staminali dalla colonia risultante. Tuttavia, stava cercando di produrre cellule simili a quelle embrionali applicando la stessa tecnica di clonazione che aveva prodotto la pecora Dolly. Estraeva il nucleo di una cellula adulta, per esempio cutanea, e lo impiantava in un ovocita non fecondato il cui nucleo era stato rimosso. Se l'obiettivo era riprogrammare cellule umane, la clonazione era però terribilmente inefficiente, oltre che spaventosamente controversa, non ultimo perché bisognava trovare donne disposte a donare le proprie cellule uovo.

Usando l'approccio di Yamanaka, nel 2007 Eggan e il suo team riuscirono a far funzionare la tecnica iPS in un esperimento con cellule umane. A quel punto tutto era pronto per tentare la realizzazione della «malattia in provetta». Chung e i suoi colleghi della Columbia avevano raccolto cellule dalle sorelle croate e altri malati di SLA, in previsione di un loro uso negli esperimenti di clonazione di Eggan. Con finanziamenti privati, il progetto SLA aveva costrui-

Nuovi usi per una vecchia pelle

Usando tecniche sperimentate per la prima volta in Giappone, ricercatori di Harvard e della Columbia University prelevano tessuto cutaneo da individui adulti (*sotto*), isolano cellule specializzate chiamate fibroblasti e infine le inducono per via genetica e chimica a trasformarsi in cellule nervose.

to uno speciale laboratorio vicino alla Columbia in cui i ricercatori stavano raccogliendo da mesi linee cellulari di pazienti. Improvvisamente, l'approccio iPS offriva una miglior possibilità di successo. «È stato un puro caso che avessimo iniziato a raccogliere cellule cutanee pensando a un esperimento molto diverso», dice Estess.

La capofila di tutte quelle prime linee cellulari SLA fu quella ottenuta dalla più giovane delle sorelle croate, identificata come paziente A29. Le cellule cutanee delle sorelle furono riprogrammate entrambe con successo in neuroni, ma furono l'età e il grado di malattia della paziente A29 a dimostrare che la tecnica iPS poteva essere usata per produrre cellule che rispecchiavano una patologia grave e permanente. «Scegliemmo quei campioni perché erano le persone più anziane del nostro studio», dice Eggan. «Volevamo dimostrare che era possibile riprogrammare cellule provenienti da persone anche molto, ma molto anziane, e malate già da tempo. Erano un caso speciale».

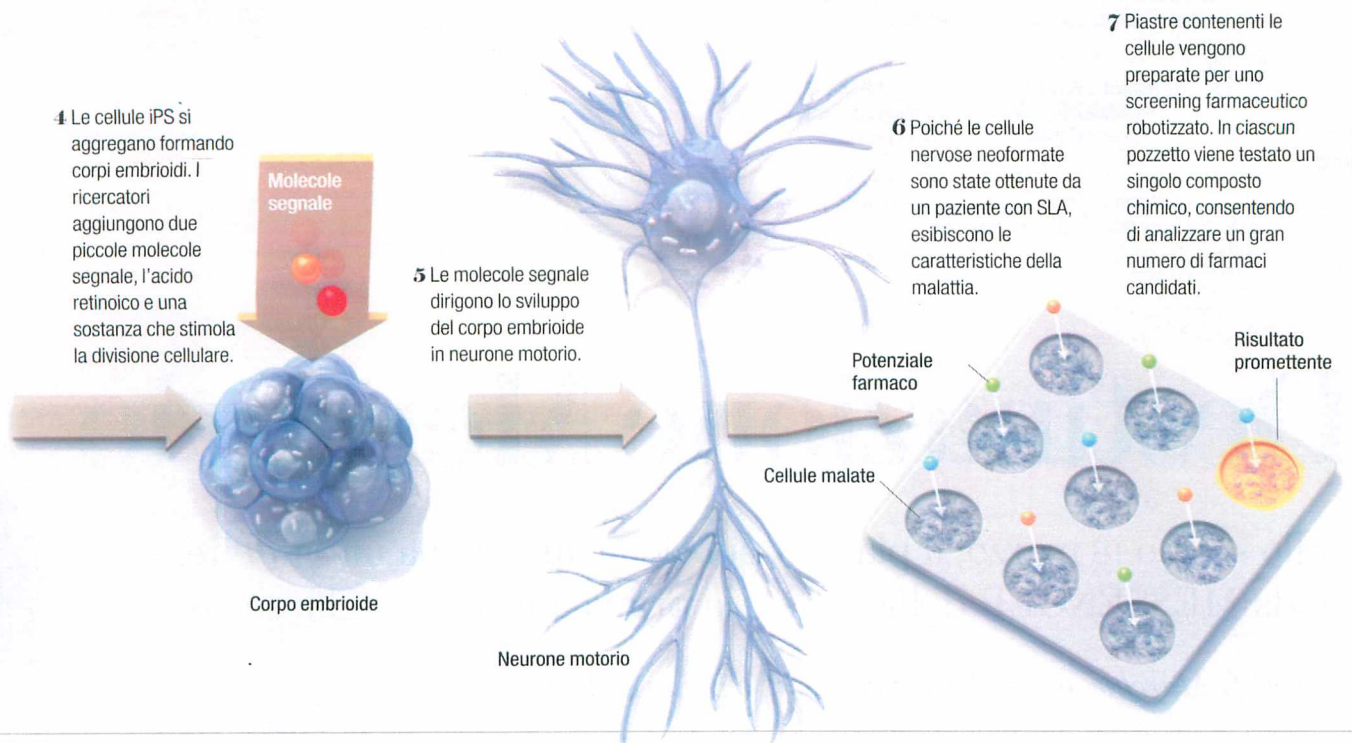
I risultati furono pubblicati il 29 agosto 2008 su «Science» e furono salutati dalla stampa come una pietra miliare. L'idea di usare cellule staminali per riprodurre una malattia in una piastra di coltura fece intravedere un accesso sperimentale a cellule che altrimenti sarebbero state difficili o impossibili da ottenere – i neuroni motori caratteristici della SLA e dell'atrofia muscolare spinale, cellule cerebrali in numerose patologie neurodegenerative, e cellule pancreatiche tipiche del diabete giovanile.

Cellule su misura

Negli ultimi due anni, la collaborazione Columbia-Harvard ha prodotto almeno 30 linee cellulari umane per la SLA, e molte altre sono in preparazione. Molte di queste linee cellulari contengono mutazioni uniche, scoperte in persone colpite da casi insolitamente gravi di SLA. Ancora più importante, l'approccio della «malattia in provetta» sta cominciando a esprimere il proprio potenziale, gettando nuova luce sulla natura della patologia che colpisce i neuroni motori. Usando cellule provenienti dalle due sorelle, per esempio, i ricercatori hanno identificato alcune vie molecolari che sembrano essere coinvolte nella morte dei neuroni motori, che si verifica quando queste cellule vengono intossicate da un'altra classe di neuroni noti come astrociti. Coltivando simultaneamente neuroni motori e astrociti in una piastra di coltura, ora gli scienziati stanno cercando composti potenzialmente terapeutici che riescano a bloccare l'attività tossica degli astrociti, o ad accrescere la sopravvivenza dei neuroni motori.

Nel gennaio 2010, per esempio, ricercatori del progetto SLA hanno cominciato uno screening preliminare di circa 2000 composti in neuroni motori SLA umani, cercando di capire se qualcuna di quelle molecole fosse in grado di prolungare la sopravvivenza di cellule nervose contenenti il gene mutato per la SLA. Questo programma pilota riflette un nuovo approccio allo screening farmaceutico: i ricercatori hanno iniziato testando composti che sono già stati approvati dalla Food and Drug Administration per altre malattie. La speranza è scoprire una molecola, già testata dal punto di vista della sicurezza per gli esseri umani, che potrebbe essere rapidamente reimpiegata nelle patologie che colpiscono i neuroni motori. Perseguendo un percorso parallelo a Harvard, Rubin ha identificato una ventina di piccole molecole che interagiscono con una delle vie biochimiche individuate recentemente, e accrescono la sopravvivenza dei neuroni motori. E ora la Spinal Muscular Atrophy Foundation sta sperimentando una delle molecole in un modello animale di atrofia muscolare spinale.

Forse un indicatore altrettanto rivelatore della capacità delle cellule iPS di offrire un approccio promettente alla scoperta di un farmaco è il fatto che Rubin non sta più bussando alla porta delle industrie farmaceutiche. Da quando i ricercatori della Columbia e di Harvard hanno dimostrato con il paziente A29 che si possono

Bryan Christie

produrre neuroni con i tratti genetici di quelli una persona malata, sono state le case farmaceutiche a bussare alla porta di Rubin. Senza nominare alcuna specifica azienda per ragioni di privacy, Rubin racconta che «tutte le maggiori industrie farmaceutiche si sono interessate a questa tecnica».

L'entusiasmo si è propagato anche al settore delle biotecnologie: molti dei ricercatori che fanno parte del progetto che ha portato alla produzione dei neuroni motori malati in piastra, inclusi Eggan e Rubin, sono coinvolti anche nei progetti di un'industria biotecnologica chiamata iPierian, una delle numerose start-up, come la Cellular Dynamics International e la Fate Therapeutics, che stanno adattando la tecnologia iPS alle procedure per lo sviluppo di nuovi farmaci.

Nel frattempo un numero sempre maggiore di ricercatori impegnati nello studio delle cellule staminali sta perseguendo il concetto della malattia su una piastra. Poco dopo la pubblicazione dell'articolo del 2008 sulla SLA, un altro gruppo di ricerca dell'Harvard Stem Cell Institute riferì di aver usato la tecnica iPS per creare cellule malate in provetta a partire da pazienti con diabete giovanile, morbo di Parkinson e altre patologie. E alla fine del 2008 ricercatori dell'Università del Wisconsin guidati da Clive N. Svendsen (che si è trasferito al Cedars-Sinai Medical Centre di Los Angeles), hanno prodotto su una piastra neuroni motori provenienti da un paziente affetto da atrofia muscolare spinale.

In gara contro il tempo

Quando ho chiesto ai ricercatori della Columbia e di Harvard se le due sorelle croate fossero a conoscenza della ricerca che si era sviluppata grazie alle cellule che avevano donato, inizialmente nessuno sembrava saperlo. Ma alla fine ho scoperto che le sorelle sono ancora vive, come mi ha raccontato la figlia della paziente A29, che ha accettato di parlare dietro promessa di mantenere nell'anonimato il suo nome e quello della sua famiglia. La sorella più anziana, ora novantatreenne, non presenta quasi alcun sintomo di SLA; in effetti, a quanto riferisce la nipote, «vive da sola, si sposta ovunque autonomamente, fa la spesa, cucina, spazza e pulisce». La sorella più giovane, la paziente A29, ha compiuto 85 anni lo scorso giugno; nonostante la SLA, è in grado di muoversi «lentamente e debolmente» ed è «grata» per aver avuto l'opportunità di contribuire al progetto.

Tuttavia, il crudele fardello della famiglia non è mai lontano, e sottolinea l'urgenza provata da coloro che potrebbero beneficiare della nuova terapia basata sulle cellule staminali per scoprire nuovi farmaci. «Sono relativamente giovane», spiega la figlia della paziente A29, alla quale nel 2002 è stata diagnosticata la SLA. «Temiamo che l'inizio della malattia stia anticipando sempre più man mano che le generazioni si susseguono. Ci sentiamo un po'...», interrompe il discorso, per raccogliersi e raccogliere suoi pensieri inevitabilmente tristi. «... Un po' come se corressimo in gara contro il tempo. Io stessa ho una figlia, che oggi è adolescente, e il pensiero di ciò che potrebbe aspettarla è terribile da sopportare, sia razionalmente che emotivamente». ■

PER APPROFONDIRE

Induced Pluripotent Stem Cells Generated from Patients with ALS Can Be Differentiated into Motor Neurons. Dimos J.T. e altri, in «Science», Vol. 321, pp. 1218-1221, 29 agosto 2008.

Study Says Brain Trauma Can Mimic A.L.S. Schwarz A., in «New York Times», 17 agosto 2010.

iPS Cells: A Promising New Platform for Drug Discovery. Daley G., in «Children's Hospital Boston's science and clinical innovation blog», 23 settembre, 2010. Disponibile in rete all'indirizzo **http://vectorblog.org/ips-cells-a-promising-new-platform-for-drug-discovery.**

Diseases in a Dish Take Off. Vogel G., in «Science», Vol. 330, pp. 1172-1173, 26 novembre 2010.

Scott L. Murchie lavora come geologo all'Applied Physics Laboratory (APL) della Johns Hopkins University e si occupa dell'analisi dello spettro della luce solare riflessa per rivelare la struttura e la storia della crosta dei pianeti.

Ronald J. Vervack Jr. lavora anch'egli all'APL, dove studia atmosfere planetarie, comete e asteroidi a diverse lunghezze d'onda.

Brian J. Anderson è uno specialista di campi magnetici planetari, magnetosfere e plasma spaziale presso l'APL.

ESPLORAZIONE SPAZIALE

Destinazione Mercurio

Dallo scorso 18 marzo, il pianeta più vicino al Sole ha un satellite: la sonda MESSENGER della NASA, la prima a inserirsi nella sua orbita

di Scott L. Murchie, Ronald J. Vervack, Jr., e Brian J. Anderson

Secondo una vecchia battuta, trovare un verme in una mela non è bello, ma trovarne mezzo è peggio. I planetologi provarono una sensazione simile il 29 marzo 1974, quando Mariner 10 sorvolò Mercurio offrendo all'umanità la prima opportunità di osservare il minuscolo pianeta arroventato. Tra le altre strutture superficiali, la sonda individuò uno dei più grandi bacini d'impatto del sistema solare, in seguito battezzato Caloris. Ma nelle immagini appariva solo metà del bacino, mentre l'altra rimaneva avvolta nell'oscurità. Le fotografie realizzate da Mariner 10 nel corso dei tre incontri ravvicinati con il pianeta mostrarono meno di metà della superficie di Mercurio.

Solo 34 anni dopo è stato possibile vedere finalmente l'intero bacino illuminato, e lo spettacolo si è rivelato ancora più straordinario di quanto suggerissero le immagini inviate da Mariner 10. Il 14 gennaio 2008 la sonda MESSENGER si è avvicinata a Mercurio e la prima immagine che ha trasmesso era centrata quasi esattamente su Caloris. Quando la nostra collega Nancy Chabot ce l'ha mostrata siamo scoppiati in un applauso; ma subito dopo abbiamo iniziato a discutere di cosa esattamente stessimo vedendo. Sembrava un'immagine in negativo della Luna. Benché la superficie molto craterizzata di Mercurio ricordi quella lunare, la parte interna dei bacini del nostro satellite è scura, colma di antiche lave, mentre Caloris mostrava pianure di colore chiaro: una diversità non ancora del tutto compresa.

Il 18 marzo scorso MESSENGER ha effettuato una manovra impossibile per Mariner 10: è entrata in orbita intorno a Mercurio per studiarlo in modo approfondito. Mercurio è il meno esplorato dei pianeti interni, e le strutture e le variazioni di luminosità della sua superficie sono solo i primi tra i molti misteri da indagare. Lanciata nel 2004, la sonda (MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry, and Ranging) è stata progettata per rispondere a sei interrogativi fondamentali: qual è la composizione della superficie di Mercurio? Qual è la sua storia geologica? Come può un pianeta così piccolo avere un campo magnetico globale? Il nucleo metallico di Mercurio è ancora fuso? Che cosa sono le chiazze in corrispondenza dei poli che appaiono luminose nelle immagini radar? Quali processi avvengono nella rarefatta atmosfera del pianeta? MESSENGER dovrebbe portare a terminare il compito che Mariner 10 ha lasciato a metà. ■

IN BREVE

Mercurio è un enigma. È grande metà della Luna, ma ha caratteristiche di tipo terrestre, come un campo magnetico globale. La sua superficie è fortemente craterizzata, eppure mostra segni di attività geologica relativamente recente.

Nel 2008 e nel 2009 la sonda MESSENGER della NASA ha sorvolato Mercurio per la prima volta dagli anni settanta, raccogliendo immagini dettagliate di un'emisfero mai osservato prima, e rivelando un'attività sorprendentemente violenta del plasma.

La sonda si è inserita con successo nell'orbita di Mercurio a marzo, una manovra complessa a causa dell'elevata velocità orbitale, la vicinanza al Sole e la bassa velocità di rotazione del pianeta.

Don Foley (*Messenger*) e Jen Christiansen (*traiettoria*)

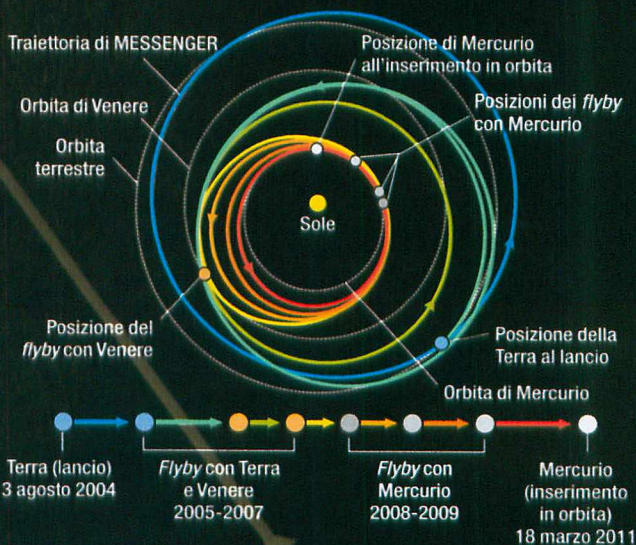
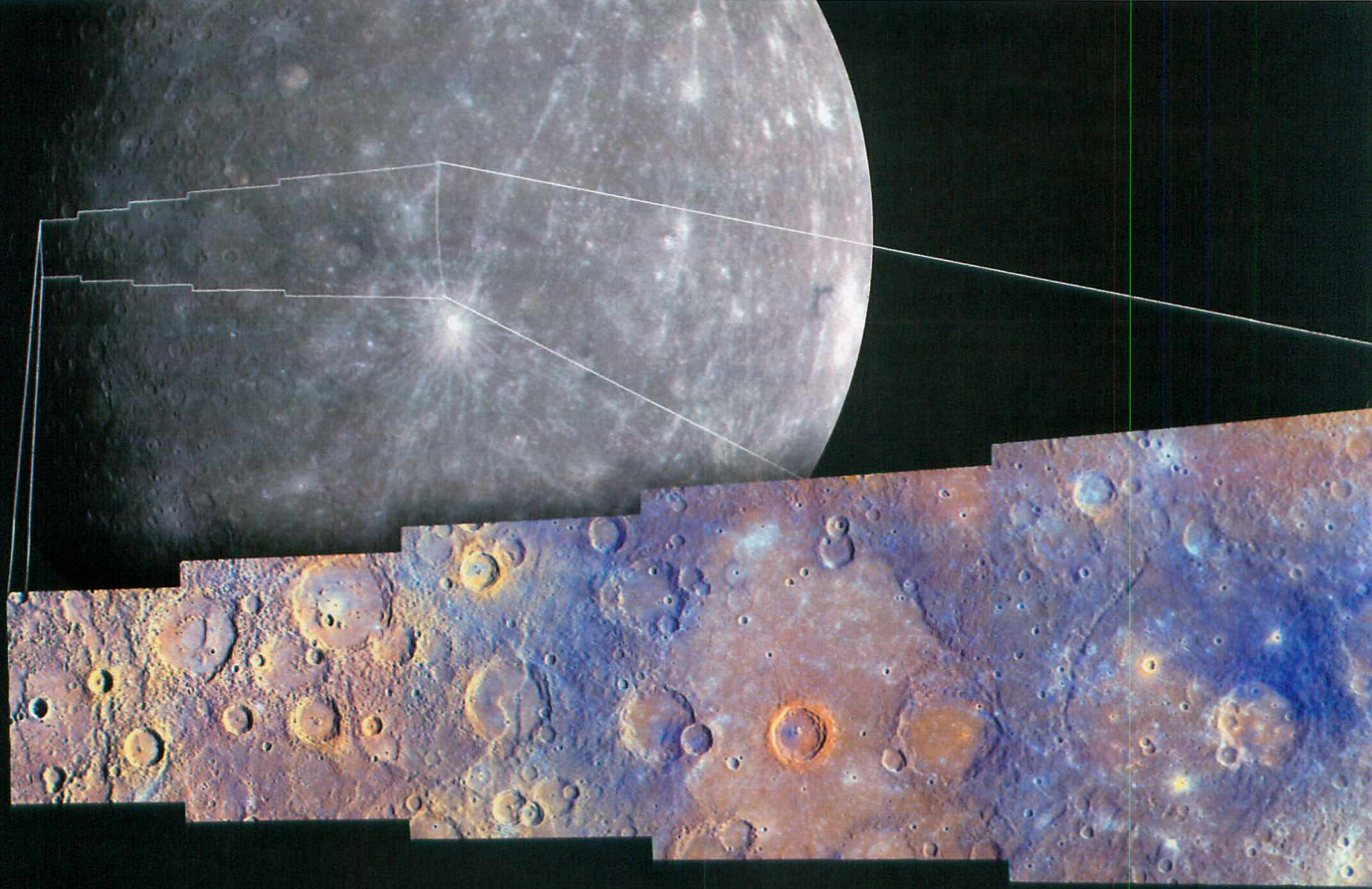
Discesa nell'Ade

Uno dei motivi per cui sono stati necessari trent'anni per dare un seguito alla missione Mariner 10 è che raggiungere Mercurio e rimanervi significa vincere una sfida tecnologica. Una sonda che segue una traiettoria diretta dalla Terra entra nel campo gravitazionale solare e accelera fino a raggiungere una velocità superiore di quasi 13 chilometri al secondo rispetto alla velocità orbitale di Mercurio. Un motore a razzo convenzionale non può frenare la sonda quanto basta per consentirne la cattura in orbita da parte della gravità del pianeta. In termini di energia, Mercurio è più difficile da raggiungere di Giove, benché quest'ultimo sia molto più lontano. Per raggiungere il suo obiettivo, MESSENGER ha effettuato un *flyby* con la Terra, due con Venere e tre con Mercurio; ogni volta, una parte del moto della sonda è stata trasferita al pianeta. Il meccanismo è analogo all'effetto di fionda gravitazionale usato per sospingere una sonda verso i pianeti esterni, ma in questo caso la traiettoria è stata calcolata in modo da rallentare anziché accelerare il veicolo. Nell'arco di sei anni e mezzo, la sequenza dei *flyby* ha ridotto la velocità della sonda di 11 chilometri al secondo.

Il motore principale di MESSENGER ha completato l'opera. La sonda è una sorta di serbatoio di gas volante, con una struttura minima e leggera intorno ai contenitori del propellente (1). Al lancio la massa totale della sonda era di 1100 chilogrammi, oltre metà dei quali era costituita da combustibile.

Ma il viaggio è stato solo l'inizio. Nella posizione di Mercurio, il Sole è fino a 11 volte più luminoso che sulla Terra, e la superficie planetaria raggiunge una temperatura così alta da fondere lo zinco. La sonda è protetta da uno schermo solare (2) realizzato con fibre ceramiche intrecciate. Naturalmente i pannelli solari (3) devono sporgere dallo schermo e, sebbene siano stati progettati per funzionare a temperature elevate, è necessario inclinarli molto affinché assorbano solo una frazione della luce del Sole e non si surriscaldino.

Inoltre gli strumenti scientifici devono poter osservare la superficie del pianeta. Per non finire arrosto, la videocamera (4) è collocata su uno strato di 400 grammi di paraffina. Quando la sonda è in orbita bassa, la paraffina fonde e assorbe calore; quando il veicolo è ad alta quota o sorvola l'emisfero in ombra, la paraffina solidifica nuovamente.

Un'altra difficoltà è rappresentata dal fatto che Mercurio ruota molto lentamente sul proprio asse. Un giorno solare di Mercurio – da un'alba all'altra – è pari a 176 giorni terrestri. Molti siti saranno visibili nella prospettiva ideale per le osservazioni solo per brevi periodi nel corso della missione, che durerà un anno terrestre.

Fonti: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution, Washington

LA CROSTA

Meno morto di quanto sembra

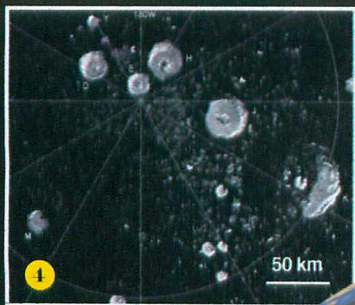
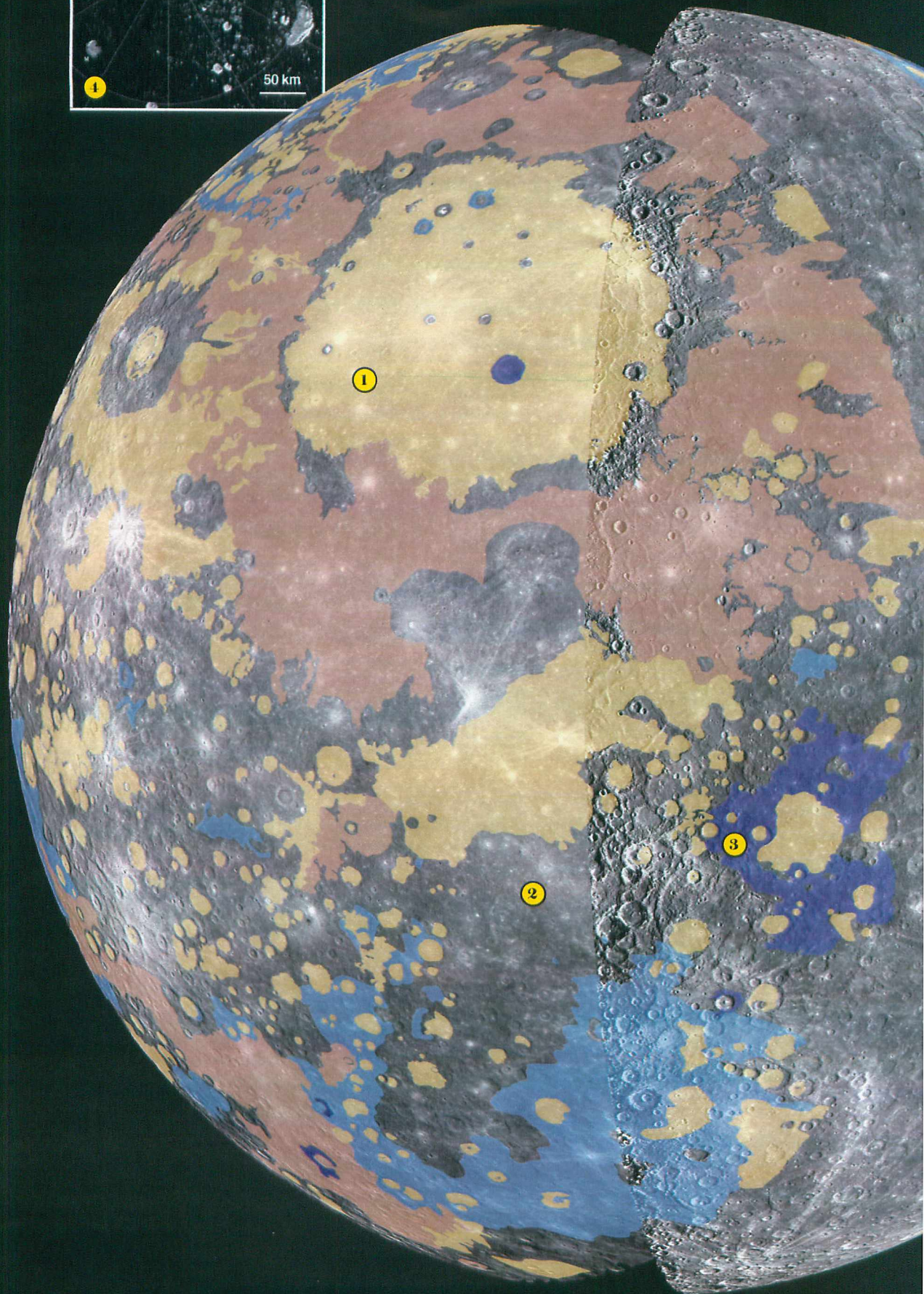
Prima di Mariner 10 si sospettava che Mercurio fosse geologicamente morto come la Luna. L'attività geologica termina quando un corpo esaurisce il calore endogeno, un processo la cui velocità è determinata dalla grandezza dell'oggetto: un corpo piccolo ha un'area superficiale ampia rispetto al volume, e quindi si raffredda rapidamente. Poiché Mercurio è grande metà della Luna, la sua storia geologica dovrebbe essere stata analoga, ma Mariner 10 fece sorgere dubbi inviando immagini di pianure di origine apparentemente vulcanica. Ma era difficile esserne certi; da lontano, anche le Cayley Plains lunari hanno l'aspetto di una pianura vulcanica, ma quando gli astronauti dell'Apollo 16 vi atterrarono trovarono solo frammenti di impatti meteoritici.

MESSENGER ha risolto rapidamente il problema, individuando chiare tracce di depositi lavici di colore e composizione differente, nonché di antiche eruzioni piroclastiche. L'elaborazione al computer delle variazioni cromatiche (*immagini in alto*) evidenzia i rapporti. Le depressioni all'interno dei crateri sono riempite da materiale uniforme di colore caratteristico. In corrispondenza dei crateri più piccoli e più giovani affiora in superficie materiale di colori diversi proveniente da varie profondità nella crosta. Queste immagini indicano che lo strato più esterno della crosta di Mercurio, spesso alcuni chilometri, è costituito da depositi vulcanici stratificati.

Delineando le strutture superficiali di morfologia e colore simili, i responsabili della missione hanno ottenuto la prima carta geologica di Mercurio dell'era di MESSENGER (*a destra*). Circa il 40 per cento della superficie – compreso l'interno del bacino d'impatto Caloris (1) – è costituito da pianure uniformi, molte delle quali sono probabilmente di origine vulcanica (*raffigurate nella mappa in vari toni di marrone*). Le aree grigie tra esse sono maggiormente craterizzate e potrebbero essere pianure più antiche (2). Una differenza rilevante rispetto alla Luna e a Marte è la distribuzione delle aree pianeggianti. Quelle della Luna si concentrano nell'emisfero rivolto alla Terra e quelle di Marte si trovano nell'emisfero settentrionale e in un solo grande altopiano vulcanico. Le pianure di Mercurio invece sono distribuite su tutta la superficie. La più recente potrebbe avere un'età di circa un miliardo di anni, e sarebbe quindi relativamente giovane rispetto agli standard della Luna e di Marte.

Restano gli interrogativi sulle regioni relativamente blu che coprono il 15 per cento della superficie, come il bacino Tolstoj (3). Potrebbero contenere ossidi ricchi di ferro e titanio portati in superficie da grandi profondità a causa di impatti meteoritici; oppure potrebbe trattarsi di materiali vulcanici molto antichi che affiorano sopra lave più recenti e di colore più chiaro.

Le immagini che MESSENGER riprenderà dall'orbita avranno una risoluzione almeno tre volte migliore di quelle ottenute durante gli avvicinamenti, quando gli strumenti che prima non avevano avuto tempo sufficiente cominceranno a trasmettere dati di alta qualità. Il Gamma-Ray and Neutron Spectrometer, per esempio, approfondirà una scoperta avvenuta negli anni novanta con osservazioni radar da terra. Le regioni polari contengono sostanze che riflettono fortemente le lunghezze d'onda radar: potrebbe trattarsi di ghiaccio d'acqua (4). Il ghiaccio è probabilmente l'ultima cosa che ci si aspetta di trovare su un pianeta arroventato, ma le regioni perpetuamente in ombra presso i poli potrebbero essere abbastanza fredde da catturare in forma solida anche minime quantità di vapore acqueo liberato negli impatti di comete o di meteoroidi ricchi d'acqua.

Fonti: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Arizona State University/Carnegie Institution. Washington; John Harmon/Arecibo Observatory (*ghiaccio*)

Un enigma magnetico

Misurando la traiettoria di Mariner 10 è stato possibile determinare il campo gravitazionale di Mercurio, e quindi la sua densità, che ha un valore stranamente elevato: 5,3 grammi per centimetro cubo, in confronto ai 4,4 della Terra, 3,3 della Luna e 3 di una roccia media. (Questi valori sono tutti corretti per tener conto dell'autocompattamento causato dalla gravità, in modo da poter confrontare le proprietà intrinseche dei materiali.) Al di sotto dello strato roccioso esterno di Mercurio deve esserci un nucleo denso, costituito prevalentemente da ferro. Anche la Terra ha un nucleo ferroso ma, in rapporto alla massa planetaria, quello di Mercurio ha dimensioni doppie. Forse un tempo la crosta rocciosa di Mercurio era più spessa, ma è stata distrutta dagli impatti, o forse la materia da cui si è formato era ricca di ferro a causa della sua vicinanza al Sole.

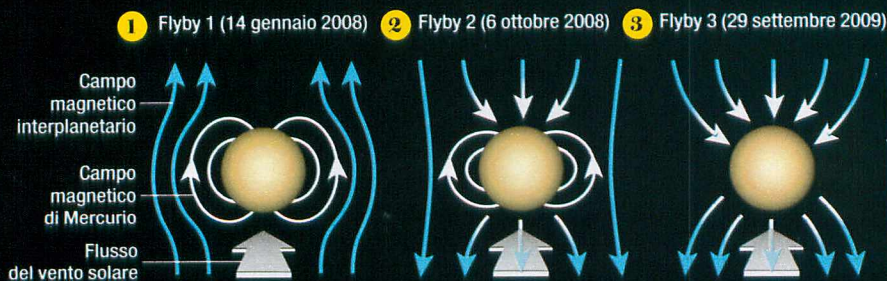
Il nucleo di grandi dimensioni è certamente correlato a una delle scoperte più inattese di Mariner 10: l'esistenza di un campo magnetico globale. Si tratta di un campo prevalentemente dipolare, come quello di un magnete a barra. Benché alla superficie il campo abbia un'intensità pari all'uno per cento di quello terrestre, il fatto stesso che Mercurio abbia un campo dipolare è notevole. Gli unici altri corpi solidi del sistema solare con questa caratteristica sono la Terra e Ganimede, uno dei satelliti di Giove.

Il campo terrestre è generato dalla circolazione di ferro allo stato fuso nel nucleo esterno: una «dinamo planetaria». Il campo di Mercurio, insieme alle piccole variazioni della sua velocità di rotazione nel corso di ciascuna rivoluzione intorno al Sole, indica che il nucleo esterno non è completamente solidificato, anche se, considerando le dimensioni del pianeta, dovrebbe esserlo. Mercurio è riuscito in qualche modo a sfuggire al destino di Marte, che agli inizi della sua storia aveva un campo magnetico globale e in seguito lo perse. Scoprire perché è uno degli obiettivi principali di MESSENGER.

Oltre a essere indicativo di ciò che sta accadendo nell'interno del pianeta, il campo magnetico è all'origine di peculiari fenomeni di fisica del plasma intorno a Mercurio. Il campo devia il vento solare – la corrente di particelle cariche emesse dal Sole – e genera intorno al pianeta un volume in cui predomina il campo magnetico planetario anziché il campo interplanetario creato dal vento solare. Mariner 10 individuò impulsi di particelle di alta energia simili a quelli associati alle aurore sulla Terra.

MESSENGER ha scoperto che la magnetosfera cambia in continuazione. All'epoca del primo *flyby*, il campo interplanetario era orientato verso nord, ed era quindi allineato con il campo magnetico equatoriale del pianeta (1). La magnetosfera era quiescente. Al momento della seconda visita di MESSENGER, il campo interplanetario era invece orientato verso sud, in direzione opposta a quella del campo magnetico di Mercurio all'equatore. Quando due campi magnetici sono allineati con orientamenti opposti si può verificare un fenomeno detto riconnessione (2), che libera grandi quantità di energia e inietta in una regione plasma proveniente dall'altra: in questo caso, il plasma del vento solare nella magnetosfera di Mercurio. MESSENGER ha misurato una riconnessione magnetica dieci volte più intensa di quanto mai osservato nei pressi della Terra.

Durante il terzo *flyby*, le osservazioni indicavano che le linee di forza del campo planetario erano profondamente distorte, alternandosi tra una completa connessione al vento solare e, cinque minuti più tardi, una normale connessione tra l'emisfero settentrionale e quello meridionale (3). Sottoposta agli effetti di una dinamica così poderosa, una bussola sarebbe di ben poco aiuto per orientarsi sulla superficie planetaria, perché indicherebbe direzioni diverse a intervalli di pochi minuti. C'è da chiedersi di quali altre stranezze sia capace la magnetosfera di Mercurio.

Illustrations di Don Foley (*Mercurio*), Jen Christiansen (*inserto campo magnetico*), e Ronald J. Vervack, Jr. (*inserto esosfera*)

PER APPROFONDIRE

The Evolution of Mercury's Crust: A Global Perspective from MESSENGER. Denevi B.W. e altri, in «Science», Vol. 324, 1° maggio 2009.

The Magnetic Field of Mercury, Anderson B.J. e altri, in «Space Science Reviews», Vol. 152, n. 1-4, maggio 2010.

Mercury's Complex Exosphere: Results from MESSENGER's Third Flyby. Vervack R.J., Jr., e altri, in «Science», Vol. 329, pp. 672-675, 6 agosto 2010.

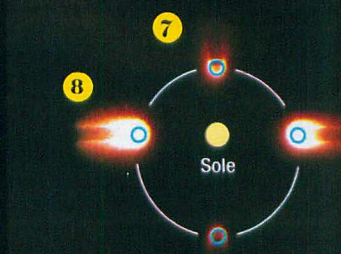
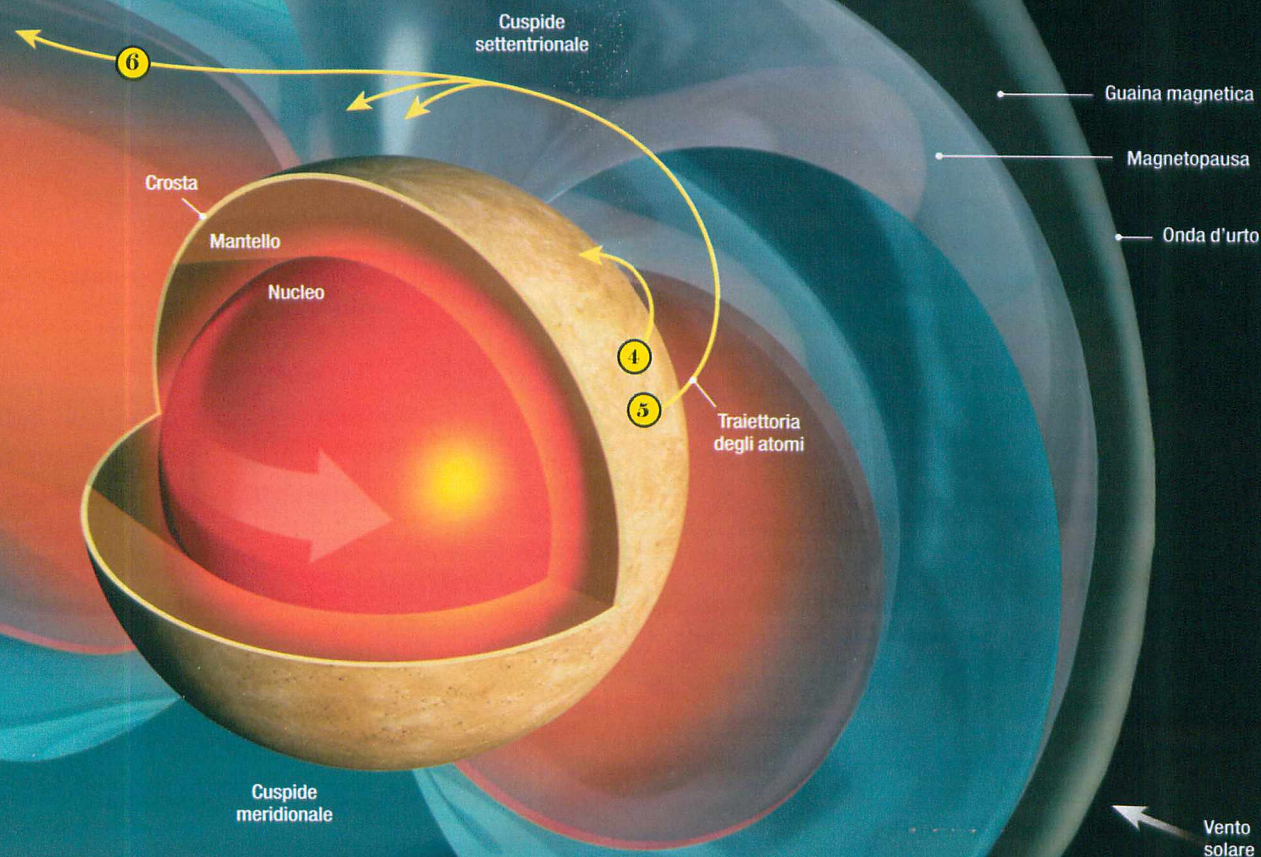
L'ESOSFERA

Un faro stroboscopico al rallentatore

Mercurio non ha un'atmosfera nel senso tradizionale del termine, ossia una spessa coltre d'aria che lo circonda, ma un'esosfera: un'«atmosfera» così rarefatta che i suoi atomi possono rimbalzare sulla superficie come palle da biliardo senza scontrarsi.

Gli atomi arrivano dalla superficie attraverso vari processi. La luce solare li espelle dai cristalli dei minerali e fa evaporare gli elementi volatili come il sodio; gli ioni del vento solare bombardano i minerali e ne liberano gli atomi; e la continua pioggia di micrometeoroidi vaporizza i materiali superficiali. I processi che coinvolgono la luce solare sono di energia piuttosto bassa, e gli atomi da essi espulsi ricadono di solito sulla superficie (4).

Il vento solare e il bombardamento di micrometeoroidi sono più violenti e gli atomi così liberati rimangono sospesi più a lungo (5). Alcuni, in particolare il sodio, vengono sospinti dalla radiazione solare lontano dal pianeta, in direzione opposta al Sole, e possono formare una coda simile a quella di una cometa (6).

Per un'affascinante combinazione di effetti, la luminosità dell'esosfera varia lentamente, con due pulsazioni a ogni orbita di Mercurio. Ciò è dovuto al fatto che gli elementi che costituiscono l'esosfera assorbono la luce solare a certe lunghezze d'onda e riemettono una parte dell'energia alle stesse lunghezze d'onda. Gli stessi elementi, tuttavia, sono presenti anche negli strati esterni del Sole, dove assorbono le lunghezze d'onda che stimolano le emissioni dell'esosfera. Ma talvolta luce solare della lunghezza d'onda giusta riesce ugualmente a raggiungere Mercurio perché l'orbita del pianeta è fortemente ellittica; quando accelera nell'allontanarsi o nell'avvicinarsi al Sole, l'effetto Doppler sposta lo spettro solare, cosicché una maggiore quantità di luce delle lunghezze d'onda appropriate raggiunge l'esosfera e la fa splendere più intensamente. Perciò, quando Mercurio si trova alla minima e alla massima distanza dal Sole l'esosfera è a malapena visibile (7). Viceversa, nei punti intermedi dell'orbita è molto luminosa (8). Quest'anno MESSENGER osserverà l'esosfera mentre compie il suo ciclo orbitale. Se le passate esperienze possono servire da riferimento, Mercurio rivelerà nuovi, inimmaginabili fenomeni.

Mark G. Raizen è il titolare della *Sid W. Richardson Foundation Regents Chair* in fisica all'Università del Texas ad Austin, dove ha ottenuto il PhD. I suoi interessi di ricerca includono l'intrappolamento ottico e l'*entanglement* quantistico.

FISICA

DIAVOLI ENTROPIA E LA CORSA VERSO LO ZERO ASSOLUTO

Un esperimento mentale del XIX secolo è diventato una tecnica di laboratorio per raggiungere temperature estremamente basse, e ha aperto la strada a nuove scoperte e applicazioni

di Mark G. Raizen

IN BREVE

I metodi tradizionali per raffreddare gas a temperature prossime allo zero assoluto funzionano solo con alcuni elementi. **Due nuove tecniche** insieme possono raffreddare atomi di quasi ogni elemento, e addirittura alcune molecole.

Una di queste tecniche, che sembra violare la seconda legge della termodinamica, è la realizzazione fisica di un celebre esperimento mentale dell'Ottocento, il cosiddetto «diavoletto di Maxwell».

Le applicazioni vanno dallo studio delle proprietà delle particelle elementari, senza la necessità di costosi acceleratori, alla separazione degli isotopi per l'uso in medicina o nella ricerca.

Fotografia di Adam Voorhes

entre leggete queste parole, le molecole dell'aria vi passano davanti a 3200 chilometri all'ora, molto più veloci di una pallottola, e vi colpiscono da tutte le direzioni. Nel frattempo, atomi e molecole del corpo si muovono, vibrano, si urtano tra loro senza sosta. In natura nulla è perfettamente fermo, e più una cosa si muove in fretta, più energia trasporta; quello che chiamiamo, e percepiamo, come calore è l'energia collettiva di atomi e molecole.

Anche se l'immobilità totale, che corrisponde alla temperatura dello zero assoluto, è fisicamente impossibile, gli scienziati si sono avvicinati sempre di più a questo limite. In domini tanto estremi si manifestano bizzarri effetti quantistici, a cui si devono nuovi stati della materia. In particolare, il raffreddamento di nuvole gassose di atomi – non materia allo stato liquido o solido – a una piccola frazione di grado sopra lo zero assoluto ha consentito di osservare particelle di materia comportarsi come onde, di creare gli strumenti di misurazione più precisi mai realizzati e di costruire i più accurati orologi atomici.

L'inconveniente di queste tecniche di raffreddamento è che sono applicabili solo a pochi elementi della tavola periodica. L'idrogeno, per esempio, il più semplice degli atomi, è rimasto per lungo tempo difficile da raffreddare. Ora però il mio gruppo ha dimostrato un nuovo metodo che funziona per la maggior parte degli elementi, e anche per molti tipi di molecole. A ispirarmi è stato un esperimento mentale ideato, in epoca vittoriana, da James Clerk Maxwell, in cui il grande fisico scozzese immaginò un «diavoletto» che sembrava in grado di violare le regole della termodinamica.

Questa opportunità aprirà nuove strade nella ricerca di base e porterà a molte applicazioni pratiche. Per esempio, alcune varianti di questa tecnica potrebbero portare a procedimenti di purificazione di isotopi rari da usare in medicina e in ricerca di base. Un altro risultato potrebbe essere l'incremento della precisione nei metodi di fabbricazione a nano-scala usati nella produzione dei chip per computer. Per tornare alla scienza, il raffreddamento di atomi e molecole potrebbe consentire di esplorare quella terra di nessuno che separa la fisica quantistica dalla chimica, o di scoprire possibili differenze di comportamento tra materia e antimateria. E la possibilità di super-raffreddare l'idrogeno e i suoi isotopi potrebbe permettere a tanti piccoli laboratori di rispondere a domande di fisica fondamentale che richiedono esperimenti di dimensioni colossali, come quelli realizzati con gli acceleratori di particelle.

Pallottole in corsa

Fermare e manipolare atomi e molecole non è facile. In un tipico esperimento, si inizia producendo gas rarefatto di un determinato elemento, riscaldando un solido o vaporizzandolo con un laser. Questo gas deve poi essere rallentato, confinato in una camera a vuoto e tenuto lontano dalle pareti del contenitore.

Io sono partito da un trucco consolidato. Più di quarant'anni fa i chimici hanno scoperto che, a una pressione di diverse atmosfere, il gas che si espande nel vuoto attraverso un foro si raffredda in modo significativo. Questi «fasci supersonici» sono quasi monoenergetici, cioè la velocità delle singole molecole è molto vicina alla velocità media; per esempio, se un fascio esce a 3200 chilometri all'ora la velocità delle molecole da cui è composto devierà da questo valore per un massimo di 32 chilometri all'ora. Per confronto, la velocità delle molecole d'aria a temperatura ambiente, il cui valore medio è di circa 3200 chilometri all'ora, può andare da 0 a 6400 chilometri all'ora. Dal punto di vista termodinamico ciò significa che il fascio, pur avendo una notevole quantità di energia, è estremamente freddo. Vediamola in un altro modo: un osservatore che viaggiasse a 3200 chilometri all'ora insieme al fascio vedrebbe le molecole muoversi così lentamente che la temperatura del fascio sarebbe di appena un centesimo di grado sopra lo zero assoluto!

Mi sono reso conto che se fossimo riusciti a rallentare e fermare un fascio del genere conservandone la ridotta dispersione di velocità, avremmo ottenuto un bel po' di atomi davvero freddi, che poi avremmo potuto intrappolare e raffreddare ulteriormente.

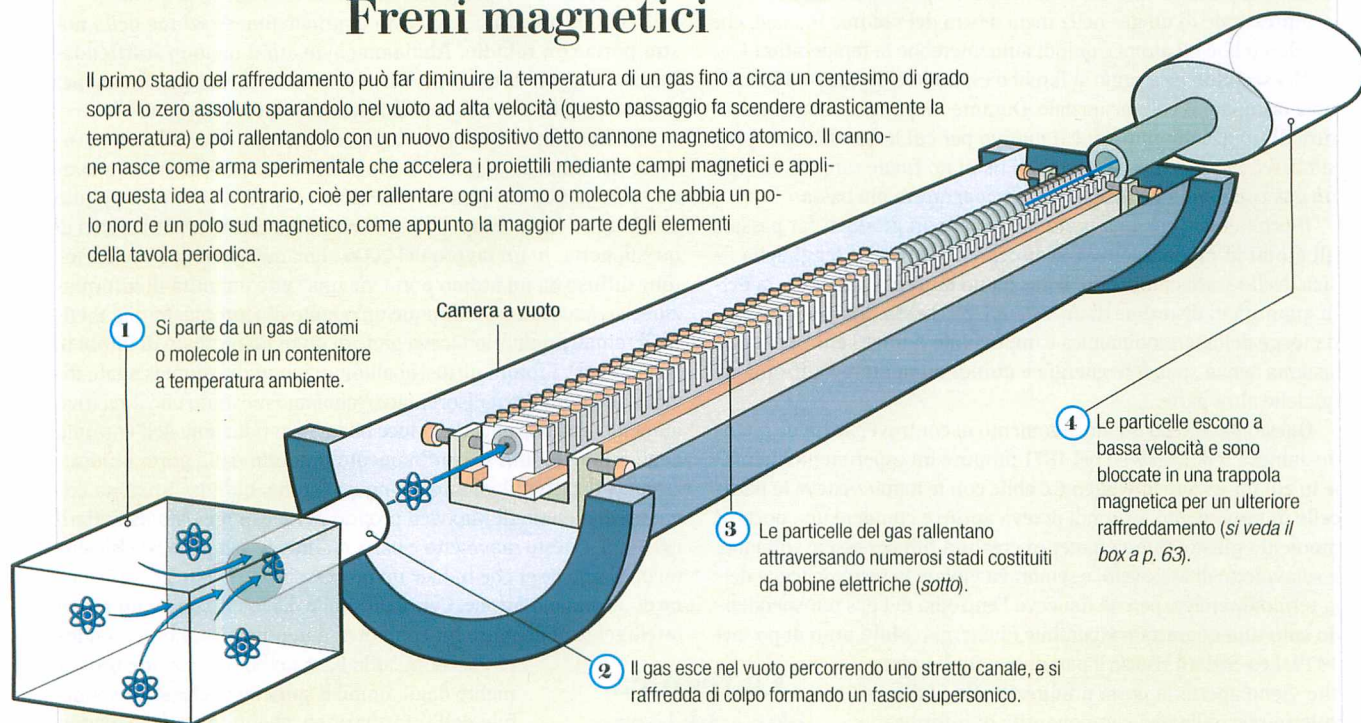
Per raggiungere questo obiettivo, nel 2004 il mio gruppo, insieme a Uzi Even, chimico dell'Università di Tel Aviv, ha iniziato a lavorare con i fasci supersonici. Come primo tentativo avevamo costruito un rotore in cui l'estremità delle pale si muoveva a una velocità pari alla metà di quella del fascio supersonico. E avevamo indirizzato brevi impulsi di gas verso le pale in allontanamento, in modo che la velocità del fascio si annullasse con quella delle pale. Quando gli atomi del gas rimbalzavano dal rotore, la loro energia cinetica veniva presa dal rotore stesso, proprio come si può bloccare una palla da tennis muovendo all'indietro la racchetta.

Questo apparato sperimentale però era complicato da gestire, perché richiedeva un adattamento preciso. Robert Hebner, direttore del Centro di elettromeccanica all'Università del Texas ad Austin, ci aveva suggerito un'idea diversa: far rimbalzare il gas sul fondo di un proiettile sparato da un cannone ad accelerazione magnetica. Si tratta di un'arma sperimentale che spara proiettili usando campi magnetici invece di esplosivo, funziona accelerando il proiettile attraverso una serie di bobine in cui passa corrente elettrica, che induce un campo magnetico. Il proiettile, sostanzialmente un magnete a barra, è attirato verso il centro della bobina che sta attraversando. Quando viaggia verso una certa bobina, il proiettile è accelerato da forze attrattive. Una volta superato il centro, però, le stesse forze attrattive comincerebbero a tirare indietro il proiettile, riportandolo alla sua velocità iniziale. Tuttavia, la corrente in ciascuna bobina è interrotta proprio nell'istante in cui il proiettile ne attraversa il centro, in modo che il proiettile sia spinto sempre nella direzione giusta: in avanti lungo la canna.

Avevo capito subito che potevamo applicare l'idea di Hebner, ma facendo a meno del proiettile. Avremmo usato lo stesso principio sul fascio, ma al contrario: invece di accelerare un proiettile, le bobine avrebbero agito sulle molecole del gas, rallentandole fino a fermarle (*si veda il box a fronte*). Il trucco è possibile perché la maggior parte degli atomi sono magnetici, almeno in qualche misura, e tutti lo diventano quando sono portati a uno stato eccitato. E sono magnetici anche molti tipi di molecole.

Abbiamo costruito il nuovo dispositivo e lo abbiamo provato prima con atomi di neon eccitati e poi con molecole di ossigeno. A nostra insaputa un gruppo di Zurigo, guidato da Frederic Merkt, aveva sviluppato indipendentemente la stessa idea, ed era riuscito a fermare atomi di idrogeno più o meno nello stesso periodo in cui abbiamo condotto i nostri esperimenti. Oggi parecchi gruppi hanno il proprio cannone magnetico per atomi, che in fin dei conti è un dispositivo molto semplice e affidabile, composto da normali fili di rame, condensatori e transistor reperibili sul mercato.

Una volta fermati gli atomi, è stato abbastanza immediato intrappolarli in campi magnetici statici. Il vero problema era trovare il modo di raffreddarli ulteriormente. Sebbene una temperatura di 0,01 kelvin (cioè un centesimo di grado sopra lo zero assoluto) sembri davvero gelida, è ancora ben lontana dai limiti raggiunti con altri metodi. Dovevamo trovare il modo di scendere ancora.

Illustrazione Brown Bird Design

Strade a senso unico

Mi stavo occupando di metodi di raffreddamento da prima ancora che qualcuno immaginasse il cannone magnetico per atomi, ma per lungo tempo non avevo visto una soluzione. La tecnica del raffreddamento laser, inventata negli anni ottanta, aveva ottenuto straordinari successi che avevano portato alla realizzazione di uno stato della materia detto «condensato di Bose-Einstein» e a due premi Nobel per la fisica, nel 1997 e nel 2001. Solo che l'applicazione del raffreddamento laser è limitata agli atomi della prima colonna della tavola periodica, come sodio e potassio, perché è facile farli passare dallo stato fondamentale a un singolo stato eccitato e viceversa, come richiede questa tecnica. Un altro metodo che avevo preso in considerazione era il raffreddamento evaporativo, basato sull'eliminazione degli atomi più caldi, in modo da avere solo quelli più freddi (lo stesso principio per cui l'evaporazione del sudore ci rinfresca la pelle). Senza l'aiuto del raffreddamento laser, però, è molto difficile arrivare a una densità abbastanza elevata da avviare il processo di evaporazione.

Nel febbraio 2004, in visita alla Princeton University, avevo discusso con Nathaniel J. Fisch, fisico del plasma, il quale mi aveva raccontato un'idea che aveva appena sviluppato: come guidare una corrente elettrica in un plasma – gas composto di elettroni e ioni positivi – in modo da far andare gli elettroni in una direzione ma non nell'altra. Allora mi sono chiesto se non potevamo realizzare qualcosa di simile con atomi o molecole: una porta che facesse passare gli atomi in un verso ma non nell'altro.

Lasciando da parte la questione tecnica riguardo la realizzazione di una porta unidirezionale, vediamo in che modo un dispositivo del genere potrebbe raffreddare un gas. Il primo passaggio sarebbe una riduzione del volume del gas senza aumentarne la temperatura. Immaginiamo che la porta divida un contenitore in due spazi separati. Gli atomi rimbalzano a caso in tutto il contenitore, e prima o poi si dirigono verso la porta. Se la porta li lascia passare solo in una direzione, diciamo quando vanno da sinistra a destra, alla fine tutti gli atomi si concentreranno nella parte destra del contenitore. L'aspetto cruciale è che la velocità degli atomi non

cambia nel processo, quindi il gas avrà la stessa temperatura iniziale. (Dal punto di vista termodinamico, il processo è diverso dalla compressione di un gas nella metà destra del volume iniziale, che accelererebbe gli atomi e quindi aumenterebbe la temperatura.)

Nel secondo passaggio si farebbe espandere di nuovo il gas, fino a occupare il volume iniziale. Durante l'espansione, la temperatura di un gas diminuisce: è il motivo per cui le bombolette spray si raffreddano mentre le usiamo. Il risultato finale sarebbe dunque un gas con il volume iniziale ma a temperatura più bassa.

Il problema è che una porta del genere, in grado di far passare gli atomi in modo selettivo, sembrerebbe violare le leggi della fisica. Nello stato compresso, il gas ha un'entropia, una misura della quantità di disordine di un sistema, più bassa. Ma per la seconda legge della termodinamica è impossibile ridurre l'entropia di un sistema senza spendere energia e quindi aumentare l'entropia da qualche altra parte.

Questo paradosso è stato argomento di controversie fin da quando James Clerk Maxwell nel 1871 propose un esperimento mentale in cui un «essere intelligente e abile con le mani» vedeva le particelle in movimento, e quindi poteva aprire e chiudere una porta al momento giusto. Questa ipotetica creatura finì per essere chiamata il «diavoletto di Maxwell», e sembrava violare la seconda legge della termodinamica, perché riduceva l'entropia del gas pur spendendo solo una quantità trascurabile di energia. Molti anni dopo, nel 1929, Leo Szilard risolse il paradosso. Ogni volta che viene aperta la porta unidirezionale, il diavoletto raccoglie una certa quantità di informazione. Secondo Szilard, questa informazione trasporta entropia, che bilancia quella perduta dal gas, «salvando» la seconda legge. (Szilard era in anticipo sui tempi. Si può sostenere che nei decenni successivi l'idea secondo cui l'informazione ha un significato fisico abbia dato l'avvio alla moderna scienza dell'informazione.)

Per decenni i ragionamenti sul dilemma di Maxwell sono rimasti a livello concettuale, dove sembravano destinati a rimanere. Con i miei colleghi, però, siamo stati i primi a realizzare fisicamente l'esperimento mentale di Maxwell, proprio come era stato concepito dal fisico scozzese. (Altri esperimenti recenti hanno fatto qualcosa di simile, ma con nanomacchine invece che con una porta e un gas.) E l'abbiamo usato per raffreddare atomi a temperature di appena 1/15.000.000 di kelvin.

La tecnica che abbiamo sviluppato funziona come il diavoletto di Maxwell, un essere che sembra violare la seconda legge della termodinamica

Come vedremo, il nostro dispositivo chiarisce in che modo un diavoletto di Maxwell può diventare reale e perché l'idea di Szilard riguardo il ruolo cruciale dell'informazione era corretta.

Una porta può funzionare in modo unidirezionale se gli atomi del gas hanno due stati diversi (due possibili configurazioni degli elettroni orbitanti), entrambi a bassa energia e quindi stabili. Per distinguerli, chiamiamo i due stati «blu» e «rosso». Gli atomi sono in un contenitore diviso a metà da un fascio laser. La lunghezza d'onda laser fa rimbalzare gli atomi rossi che si avvicinano al fascio, quindi per questi atomi funziona sostanzialmente come porta chiusa. All'inizio tutti gli atomi sono blu, quindi possono attraversare la barriera laser. Gli atomi a destra del fascio, però, sono colpiti da un secondo laser, la cui lunghezza d'onda invece li fa passare dallo stato blu allo stato rosso per diffusione di un singolo fotone. Ora gli atomi sono rossi, e quindi sono respinti dal fascio che agisce da barriera e non possono attraversare nuovamente la porta per tornare nella parte sinistra del contenitore. Alla fine, gli atomi si raccolgono nella parte destra, e quella sinistra resta vuota.

Nel 2008 abbiamo realizzato la prima dimostrazione della nostra porta con rubidio. Abbiamo chiamato il metodo «raffreddamento a singolo fotone» per distinguerlo dal precedente, in cui per raffreddare ciascun atomo sono richiesti numerosi fotoni.

Nel frattempo, Gonzalo Muga dell'Università di Bilbao, e Andreas Ruschhaupt, oggi alla Leibniz Universität di Hannover, stavano sviluppando indipendentemente un concetto simile. In seguito con Muga e Ruschhaupt abbiamo elaborato alcuni aspetti teorici di questa porta. In un lavoro del 2006 abbiamo osservato che un fotone diffuso da un atomo porta via una certa quantità di informazione su quell'atomo e dunque un quanto di entropia. In più, mentre il fotone originario faceva parte di un treno ordinato di fotoni (il fascio laser), i fotoni diffusi si allontanano in direzioni casuali, diventando quindi più disordinati; e abbiamo mostrato che il relativo aumento dell'entropia della luce bilancia la riduzione dell'entropia degli atomi dovuta al confinamento prodotto dalla porta unidirezionale. Il raffreddamento a singolo fotone, quindi, funziona come un diavoletto di Maxwell proprio nel senso previsto da Szilard nel 1929. Questo diavoletto è particolarmente semplice ed efficiente: un fascio laser che induce un processo irreversibile per diffusione di un singolo fotone. Certo, un simile diavoletto non è un essere intelligente, e neppure un computer, e non ha bisogno di prendere decisioni sulla base dell'informazione proveniente dagli atomi. È sufficiente che sia disponibile dell'informazione, che in linea di principio può essere raccolta.

Metodi di frontiera

Il controllo del moto atomico e molecolare apre nuove direzioni di lavoro per la scienza. Da tempo i chimici sognano di intrappolare e raffreddare le molecole per studiare le reazioni chimiche in regime quantistico. Il cannone magnetico funziona su ogni molecola magnetica, ed è complementare a un metodo che usa forze elettriche, invece che magnetiche, per rallentare ogni molecola elettricamente polarizzata. Se le molecole sono abbastanza piccole, il raffreddamento a singolo fotone dovrebbe abbassarne la temperatura fino al punto in cui i fenomeni quantistici sono dominanti. Le molecole, per esempio, diventano onde che possono dare reazioni chimiche a distanze molto più grandi del solito, e senza bisogno dell'energia cinetica che alimenta le reazioni ordinarie. Oggi molti gruppi stanno lavorando in questa direzione.

Un altro grosso vantaggio del raffreddamento a singolo fotone è che funziona per l'idrogeno e sui suoi isotopi: deuterio (un protone e un neutrone) e trizio (un protone e due neutroni). Verso la fine degli anni novanta, Dan Kleppner e Thomas J. Greytak del Massachusetts Institute of Technology hanno intrappolato e raffreddato l'idrogeno, ma non gli altri isotopi, grazie a metodi criogenici e raffreddamento evaporativo. Per progredire ulteriormente sarebbe stata cruciale la disponibilità di nuovi metodi con cui raffreddare e intrappolare gli isotopi dell'idrogeno grazie ad apparati sperimentali relativamente semplici. Il raffreddamento a singolo fotone è perfetto per intrappolare e raffreddare i tre gli isotopi dell'idrogeno. Un obiettivo sarà superare gli attuali limiti della spettroscopia di altissima precisione, altra applicazione degli atomi ultrafreddi.

...SECONDO STADIO

Diabolica freddezza

Dopo aver raffreddato il gas con un cannone magnetico atomico, o un altro dispositivo, fino a qualche centesimo di grado sopra lo zero assoluto, inizia la parte seria del raffreddamento, con cui scendere fino a milionesimi di grado, o più in basso. La nuova tecnica di raffreddamento realizza questa impresa grazie a una porta unidirezionale ispirata a un esperimento mentale proposto nel XIX secolo. L'idea è che la porta concentri gli atomi confinandoli in un volume minore di quello iniziale (ma senza far aumentare la temperatura), e poi lasci espandere gli atomi fino al volume di partenza (passaggio che ne abbassa la temperatura.)

1. Gli atomi in un dato stato iniziale (*in blu*) sono bloccati in una trappola magnetica. Si attiva un laser (*in arancione*) che agisce su questi atomi solo quando passano a un secondo stato.

2. Un secondo fascio laser (*in rosso*) colpisce gli atomi facendoli passare dallo stato blu a un secondo stato (*atomo rosso*).

3. Gli atomi nello stato rosso rimbalzano quando colpiscono il laser arancione e quindi sono forzati a rimanere nel lato destro della trappola.

4. Alla fine tutti gli atomi attraversano il secondo laser, diventano rossi e finiscono sul lato destro. La loro temperatura è ancora quella dell'inizio del processo ma occupano un volume minore.

5. Si spengono entrambi i laser. Gli atomi tornano a occupare tutto il volume iniziale. Nell'espansione, il gas si raffredda.

Illustrazione Brown Bird Design

La possibilità di raffreddare e intrappolare atomi di trizio potrebbe permetterci di misurare la massa dei neutrini, le particelle elementari più abbondanti nell'universo, e quindi di capire meglio gli effetti gravitazionali dei neutrini sull'evoluzione del cosmo. Il trizio è radioattivo, e si trasforma in elio-3 quando un suo neutrone decade in un protone, un elettrone e un antineutrino, l'antiparticella del neutrino. Misurando l'energia dell'elettrone, cioè della radiazione beta, potremmo determinare l'energia portata via dal neutrino – che attraverserebbe l'apparato senza essere rivelato – e quindi la massa dell'antineutrino; gli scienziati si aspettano che neutrini e antineutrini abbiano la stessa massa.

Gli stessi metodi possono funzionare anche per intrappolare e raffreddare l'anti-idrogeno, l'equivalente dell'idrogeno nel regno dell'antimateria. L'anti-idrogeno è stato ottenuto al CERN solo di recente, ed è delicato da maneggiare perché l'antimateria svanisce in un lampo di energia appena entra in contatto con la materia. In questo caso, non si può usare il metodo del fascio supersonico. Si potrebbe invece generare un fascio di anti-idrogeno inviando antiprotoni in una nube di positroni, per poi fermarlo e raffreddarlo con il nostro diavoletto di Maxwell. Gli esperimenti con l'antimateria servirebbero a rispondere a una domanda semplice: l'antimateria cade come la materia? In altre parole, la gravità ha lo stesso effetto su tutti gli oggetti che hanno la stessa massa?

Le nuove tecniche del cannone magnetico atomico e del raffreddamento a singolo fotone potrebbero anche avere applicazioni importanti. La separazione della maggior parte degli isotopi si ottiene ancora con un dispositivo detto «calutrone», inventato da Ernest Lawrence durante il Progetto Manhattan. Il calutrone separa gli isotopi, che hanno masse leggermente differenti, con un campo elettrico, in pratica come un grande spettrometro di massa. L'unico progetto relativo a un calutrone attualmente attivo si trova in Russia, ed è poco efficiente. Un apparato simile al diavoletto che abbiamo usato per il raffreddamento potrebbe separare gli isotopi in un fascio, e sarebbe più efficiente del calutrone. Con questo metodo si potrebbero produrre piccole quantità di isotopi, come calcio-48 e itterbio-168, importanti per la medicina e la ricerca di base, ma non si correrebbe il rischio di proliferazione nucleare, perché il dispositivo sarebbe pratico solo per isolare piccole quantità di un isotopo.

Un'altra applicazione che stiamo cercando di sviluppare è la costruzione di strutture nanometriche. Invece di rallentare gli atomi, i campi magnetici potrebbero focalizzare il fascio come una lente focalizza la luce, ma con una risoluzione di appena un nanometro, o anche meno. Questi fasci potrebbero quindi depositare degli atomi, creando dettagli più piccoli rispetto a quelli che oggi è possibile ottenere con la litografia ottica, lo standard di riferimento per la fabbricazione dei chip dei computer. La possibilità di realizzare strutture atomo per atomo dal basso verso l'alto invece che con approcci dall'alto verso il basso, i più comuni nella nanoscienza, inaugureranno un nuovo campo, che ho chiamato atomoscienza.

Certo, lo zero assoluto potrebbe essere irraggiungibile. Ma lungo il cammino verso questa meta c'è ancora molto da scoprire, e da guadagnare. ■

PER APPROFONDIRE

La spettroscopia dei gas superraffreddati. Levy D.H., in «Le Scienze» n. 188, aprile 1984.

Diavoletti, macchine e il secondo principio. Bennett C.H., in «Le Scienze» n. 233, gennaio 1988.

Intrappolamento laser di particelle neutre. Chu S., in «Le Scienze» n. 284, aprile 1992.

Biocombustibili e uso del suolo

L'espansione delle coltivazioni destinate alla produzione di biocombustibili di prima generazione rischia di far aumentare le emissioni di gas serra invece di diminuirle

di Robert Edwards, Luisa Marelli e Fabio Monforti

IN BREVE

I biocombustibili dovrebbero attenuare alcuni problemi del sistema energetico tra cui dipendenza da fonti fossili ed emissioni di gas serra.

Biodiesel e bioetanolo, i combustibili di prima generazione, possono però incentivare la deforestazione e la sottrazione di terreno destinato ad altri usi, causando un aumento indiretto delle emissioni di gas serra.

Uno studio di questo effetto indiretto basato su modelli diversi ha mostrato che alcuni biocombustibili di prima generazione sono meno sostenibili dei combustibili fossili che dovrebbero sostituire.

Al posto del petrolio. Questo mais immagazzinato in un silo dell'azienda Big River Resources, negli Stati Uniti, è pronto per essere trasformato in bioetanolo, uno dei biocombustibili più usati al posto dei combustibili fossili.

Scott Sinklier/AgStock Images/Corbis

Robert Edwards è ricercatore da oltre vent'anni al Centro comune di ricerca della Commissione Europea di Ispra, e negli ultimi otto anni si è occupato della valutazione delle emissioni di gas serra generate dalla produzione e dall'uso dei biocombustibili.

Luisa Marelli è ricercatrice al Centro comune di ricerca da otto anni e da due coordina le attività dei gruppi che studiano i biocombustibili.

Fabio Monforti, dopo alcuni di anni di lavoro all'ENEA, da tre anni è ricercatore al Centro comune di ricerca dove coordina il gruppo sulla sostenibilità della bioenergia e dei biocombustibili.

Negli ultimi dieci anni i biocombustibili sono stati oggetto di un ampio dibattito scientifico e politico. Da un lato senza dubbio possono contribuire ad attenuare problemi di approvvigionamento energetico e di differenziazione delle fonti, e a intaccare l'attuale quasi assoluta dipendenza del settore dei trasporti dalle fonti fossili di energia. Inoltre, la produzione di biocombustibili da materie prime agricole può anche fornire una valida alternativa agli agricoltori che con il passare del tempo hanno visto diminuire margini di guadagno e prospettive di sviluppo.

D'altra parte si sa che i combustibili di prima generazione, biodiesel e bioetanolo, attualmente gli unici a essere prodotti a scala industriale, possono porre problemi di sostenibilità e opportunità. Probabilmente l'esempio più noto è la competizione fra biocombustibili e prodotti agricoli per l'alimentazione, e comprende il vero o presunto effetto sui prezzi internazionali delle derrate alimentari che si sarebbe verificato negli anni passati. Altri rischi includono la tentazione di alcuni paesi di ricorrere alla deforestazione per ampliare le aree dedicate alla coltivazione di palme da olio, per esempio. Per evitare rischi del genere, la Commissione Europea ha imposto ai biocombustibili prodotti o commercializzati nell'Unione Europea una serie di «criteri di sostenibilità» che i produttori dovranno rispettare (*si veda il box qui a fianco*).

Ciò nonostante il dibattito scientifico e politico sugli effetti inaspettati dei biocombustibili di prima generazione resta aperto, in attesa che lo sviluppo tecnologico e le economie di scala rendano conveniente l'uso dei biocombustibili di seconda generazione basati su materie ligno-cellulosiche di non diretto uso alimentare.

Cambiamento indiretto

Un effetto meno noto dello sfruttamento dei biocombustibili di prima generazione è quello dovuto al cambiamento indiretto dell'uso del suolo (*indirect land use change*, ILUC) che si può descrivere come segue: se in una certa regione del mondo, per esempio l'Unione Europea, una parte della produzione di coltivazioni originariamente a scopo alimentare, per esempio grano, è usata per fini energetici, si potrebbero indurre due effetti fra loro complementari. Innanzitutto la minore disponibilità di cibo potrebbe portare a una contrazione dei consumi a livello mondiale, oppure parte della produzione «mancante» potrebbe essere recuperata con un incremento di produzione localizzato sempre nell'Unione Europea o in un'altra area del mondo. A sua volta, questo incremento di produzione delocalizzato può essere ottenuto in due modi: con un incremento delle rese oppure con un incremento dell'area coltivata.

DIRETTIVA EUROPEA

Criteri di sostenibilità

Nelle direttiva 2009/28/EC, la Commissione Europea ha stabilito criteri di sostenibilità che i biocombustibili devono rispettare per essere prodotti o importati nell'Unione Europea.

- **Riduzione emissioni di gas serra:** il ciclo di produzione dei biocombustibili deve avere un'emissione di gas serra inferiore almeno del 35 per cento rispetto a quella del combustibile fossile equivalente. Questa soglia salirà al 50 per cento nel 2017 e al 60 per cento nel 2018.
- **Protezione della bidoversità:** i biocombustibili non possono essere prodotti con materie prime provenienti da zone ad alta biodiversità, incluse le foreste primarie.
- **Uso del suolo:** i biocombustibili non possono essere prodotti con materie prime provenienti da aree ad alto contenuto di carbonio, come per esempio torbiere, foreste, paludi.
- **Agricoltura sostenibile:** la materia prima con cui produrre i biocombustibili deve comunque essere coltivata con metodi che rispettano le linee europee per l'agricoltura sostenibile, anche se prodotta fuori dai confini europei.

Simulazione e realtà. La «frontiera dei cereali» (*linea rossa*) si sposta a causa dell'aumento della domanda di grano per biocombustibili. A fronte, la raccolta del grano negli Stati Uniti.

Sfortunatamente però il cambiamento di uso del suolo da pascolo (o bosco, o altro) ad agricolo per la coltivazione può causare consistenti emissioni di gas serra (più avanti spiegheremo il fenomeno in modo dettagliato). La domanda chiave per la sostenibilità dei biocombustibili allora diventa la seguente: questo aumento di emissioni «indiretto» dovuto all'espansione delle aree coltivate per compensare la produzione di biocombustibili, è maggiore o minore della riduzione delle emissioni ottenuta evitando di usare combustibili fossili?

Elisa Botton su indicazione degli autori

Dan Lamont/Corbis

E ancora, tutti i biocombustibili di prima generazione hanno effetti simili oppure esempio bioetanolo e biodiesel hanno effetti diversi tra loro? E in un mercato agricolo globale, quanto conta il luogo di produzione del biocombustibile? Per rispondere a queste e a molte altre domande sull'effetto ILUC sono necessari strumenti matematici complessi: i modelli agroeconomici.

Modelli per l'impatto

Lo studio quantitativo dell'effetto dovuto al cambiamento indiretto dell'uso del suolo è complicato. Molte incertezze sono infatti legate alla determinazione della quantità di cibo «sottratto» al mercato che può realisticamente essere compensata con diminuzione dei consumi, aumento delle rese o espansione delle coltivazioni. Inoltre, una volta quantificato il prodotto «mancante» deve essere compensato dall'espansione delle coltivazioni, e raramente questa espansione si traduce nella conversione diretta da terreno non coltivato a grano.

Ciò che si osserva è invece un «effetto domino» (*si veda il grafico nella pagina a fronte*). Il grano usato per fini energetici è recuperato sottraendo terreno coltivabile al meno pregiato orzo, che a sua volta è recuperato a spese dell'area di coltivazione del cereale meno pregiato rispetto all'orzo, e cioè la segale. Solo dopo questa catena di passaggi, che in realtà può avere lunghezza maggiore o minore a seconda della materia prima scelta per fini energetici, l'ultima coltivazione (nell'esempio appunto la segale) si espande in un terreno non coltivato. Nel caso illustrato, l'effetto finale è l'espansione complessiva della cosiddetta «frontiera delle coltivazioni» a scapito, per esempio, di aree di pascolo. Ed è proprio dalla conversione di queste aree «di frontiera» che si sviluppano le emissioni di gas serra che rendono cruciale l'effetto ILUC per la sostenibilità dei biocombustibili.

Lo studio scientifico di questo effetto è recente. Tutto è iniziato dopo la pubblicazione di un articolo su «Science» nel 2008. L'autore, Timothy Searchinger della Princeton University, sosteneva che la politica degli Stati Uniti sui biocombustibili avrebbe incrementato e non ridotto le emissioni di gas serra.

L'approccio di Searchinger, alla base anche degli studi successivi, è fondato sull'uso di un modello agroeconomico in grado di prevedere le modalità di sostituzione e la nuova localizzazione della produzione di cibo non più disponibile a causa della domanda di biocombustibile. Come la maggior parte dei modelli economici, anche quello usato da Searchinger si basa sul concetto dell'ottimizzazione, ovvero: il modello cerca la soluzione con costo minore e massimo profitto.

Sfortunatamente non è semplice valutare molti dei parametri dei modelli agroeconomici, per questo diversi centri di ricerca hanno sviluppato approcci e banche dati differenti. In effetti, il fenomeno da modellare è complesso, ha numerosi *feedback*, o retroazioni, e i cambiamenti nella variabile di interesse (cioè l'uso del suolo) non sono calcolati in maniera diretta ma derivano da cambiamenti di alcune variabili intermedie, come i prezzi dei beni alimentari. La scelta cruciale fra coprire la nuova domanda di prodotti agricoli aumentando le rese o ampliando l'area dipende dalla convenienza economica delle due scelte; quindi, in definitiva, dal confronto tra il prezzo di mercato dei beni da produrre e il costo dei terreni o dei fertilizzanti.

Inoltre, dovendo riprodurre un fenomeno a scala globale, i modelli dovrebbero tenere conto di come i diversi parametri variano da paese a paese o in diverse regioni agrometeorologiche nello stesso paese. Consideriamo le rese, per esempio. Notoriamente, le rese sono molto diverse fra paesi sviluppati e paesi in via di sviluppo, e questa differenza è considerata attentamente quando si distribuisce l'aumento della domanda. In altri termini, un'analisi del fenomeno ILUC richiede non solo modelli in grado di riprodurre un fenomeno agroeconomico intrinsecamente complesso, ma anche banche dati globali affidabili, complete e possibilmente aggiornate.

Valutazione dell'effetto

La difficoltà nel calcolo dell'effetto dovuto al cambiamento indiretto dell'uso del suolo si scontra con l'esigenza sempre più pressante di tenerne conto al livello della valutazione complessiva della sostenibilità dei biocombustibili. Come già detto, un biocarburante è considerato «accettabile» se le emissioni che provoca sono più basse di una certa quota rispetto alle emissioni del combustibile fossile che sostituisce. Attualmente, la procedura fissata dalle direttive europee considera le emissioni causate dalla catena di produzione dei biocombustibili (raccolta e trasporto della materia prima, processi di trasformazione, distribuzione del biocarburante, e così via), ma ancora non considera le emissioni provocate dall'effetto ILUC.

Ovviamente, la scelta di inserire un eventuale termine ILUC nelle emissioni complessive da valutare è cruciale per molti biocombustibili. Questa scelta quindi deve essere basata, oltre che su un ampio consenso politico, su un solido lavoro scientifico che ne valuti l'entità ed eventualmente possa indicare come minimizzarlo.

I modelli usati sono eterogenei, e un primo passo per la valutazione dell'effetto ILUC consiste sicuramente nel capire come modelli diversi rispondono alla stessa sollecitazione. E su questa linea il Centro comune di ricerca (Joint Research Centre) della Commissione Europea di Ispra ha svolto uno studio che consiste in un confronto fra i modelli agroeconomici più conosciuti, a cui è stato chiesto: «Che cosa succederebbe nel mercato agricolo mondiale se la domanda di biocarburanti di prima generazione crescesse improvvisamente di un milione di tonnellate di petrolio equivalente? E quanto terreno dovrebbe essere convertito per sostituire le materie prime che dal mercato alimentare sono state spostate sul mercato energetico?».

I modelli scelti fanno parte della «scatola degli attrezzi» con cui alcune istituzioni internazionali come l'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), la FAO, o la stessa Commissione Europea preparano i loro scenari per il mercato agricolo mondiale, oppure sono lo stato dell'arte su cui alcuni dei più importanti dipartimenti di agronomia mondiali hanno costruito un solido gruppo di ricerca. In ogni caso si tratta di modelli a scala globale che comprendono un numero ampio di prodotti agricoli, abbastanza articolati da descrivere gli effetti di spostamento della domanda sia in termini di aree geografiche sia di prodotti agricoli sostitutivi.

Nello studio citato sono stati coinvolti sei gruppi di ricerca, ciascuno responsabile di un modello a cui sono stati sottoposti quattro ipotetici scenari. Ognuno degli scenari implicava un aumento della domanda di biocombustibile pari a un milione di tonnellate di petrolio equivalente, ma con l'ipotesi per cui questa domanda si riferisse a biocombustibili e aree del mondo diverse: etanolo nell'Unione Europea, etanolo negli Stati Uniti, biodiesel nell'Unione Europea e biodiesel da olio di palma in Indonesia e Malaysia.

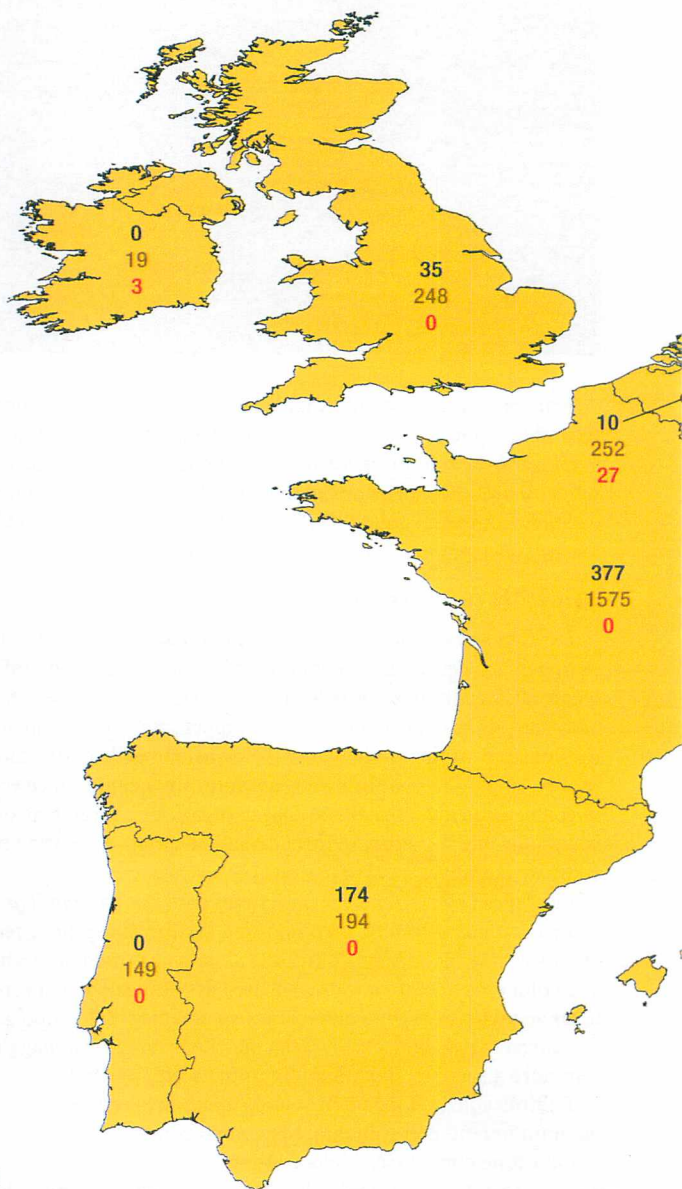
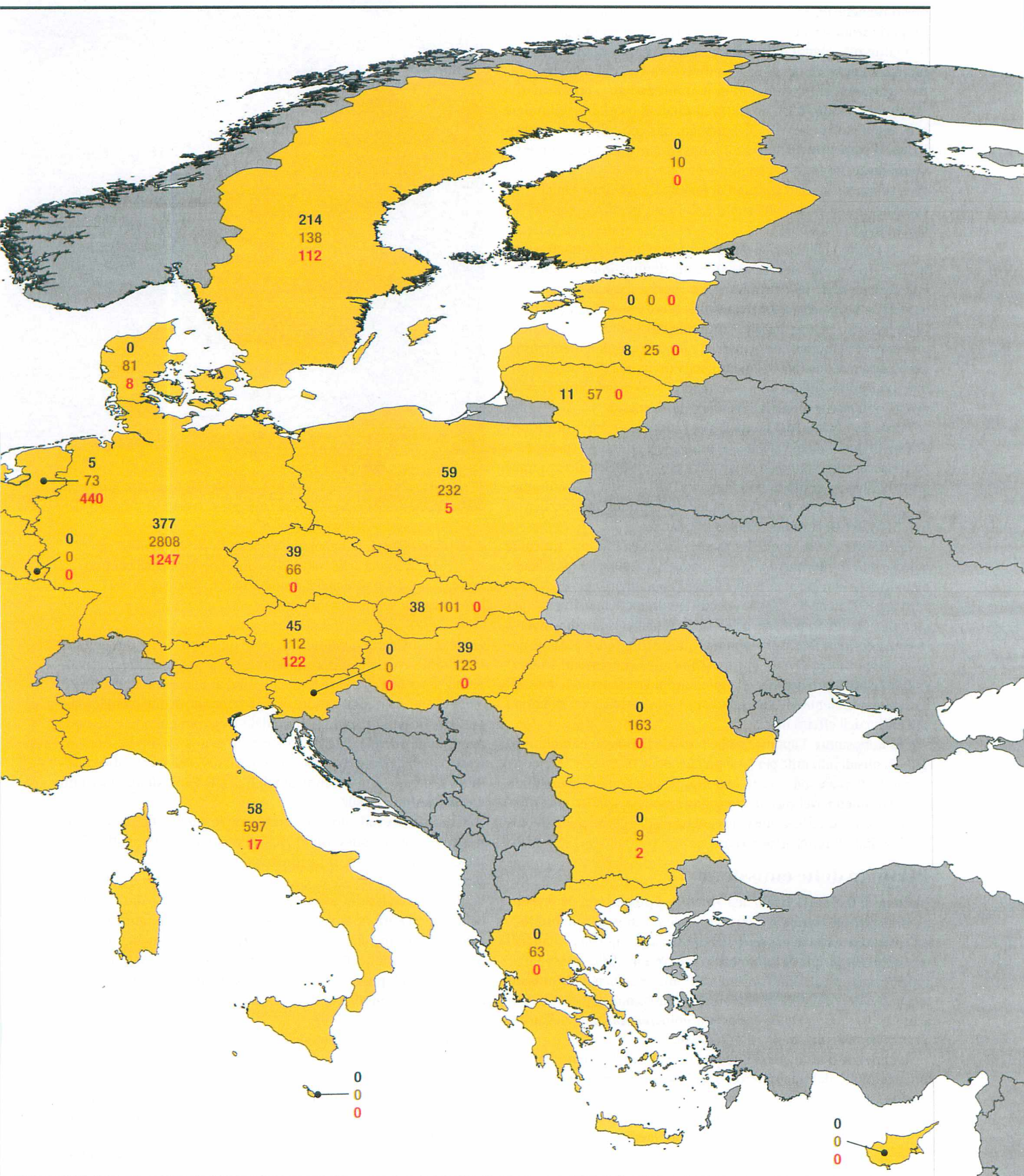
Per avere un'idea, la quantità di biocombustibile richiesta equivale a circa lo 0,3 per cento dell'attuale consumo europeo di combustibili da trasporto (dati Eurostat 2008) e l'attuale Direttiva europea sulle energie rinnovabili richiede che entro il 2020 il 10 per cento del consumo energetico nel settore trasporto di ciascuno dei 27 stati dell'Unione Europea sia prodotto da biocombustibili.

Nonostante l'apparente semplicità del problema, per la prima volta gruppi diversi che si occupano di modelli agroeconomici si sono confrontati «ad armi pari» sul tema dell'effetto dovuto al cambiamento indiretto dell'uso del suolo indotto dai biocombustibili. I motivi sono molteplici: un confronto come quello pro-

LA PRODUZIONE

Biocombustibili europei

In questa mappa, per ciascuno dei 27 paesi dell'Unione Europea sono indicati i dati di produzione di biocombustibili, in migliaia di tonnellate di petrolio equivalente, registrati nel 2008 da Eurostat. La Germania è la prima della classifica, con una produzione di 4,455 milioni di tonnellate di petrolio equivalente, di cui il 63 per cento è biodiesel. L'Italia ha prodotto 672.000 tonnellate di petrolio equivalente, di cui l'89 per cento è biodiesel. Come si può notare, alcuni paesi, per esempio Cipro ed Estonia, nel 2008 non producevano biocombustibili.

0
10
0
214
138
112
0 0 0
0
81
8
8 25 0
11 57 0
5
73
440
59
232
5
377
2808
1247
0
0
0
39
66
0
38 101 0
45
112
122
0
0
0
39
123
0
0
163
0
58
597
17
0
9
2
0
63
0
0
0
0
0
0
0

posto richiede un «giudice» di provata competenza scientifica che prepari, armonizzi e sottoponga l'esercizio ai gruppi di ricercatori coinvolti, elaborando linee guida che garantiscano il massimo della coerenza possibile fra i diversi calcoli dei modelli. Inoltre, molti modelli considerati non erano mai stati applicati allo studio dell'effetto ILUC: si tratta di modelli usati per sviluppare previsioni sull'andamento del mercato agricolo globale i cui utilizzatori sono principalmente interessati alle quantità complessive prodotte, importate o esportate da ogni paese o area geografica e, soprattutto, alle variazioni di prezzo. Concentrare l'analisi sul cambiamento dell'uso del suolo è stato un inedito per molti dei partecipanti allo studio.

Il confronto ha mostrato che tutti i modelli prevedono un effetto ILUC. In nessuno dei casi esaminati la diminuzione dei consumi e la crescita delle rese è sufficiente a coprire il buco lasciato dalla materia prima che dal mercato alimentare è stata inviata a quello energetico. In altre parole, tutti i modelli indicano che almeno una parte dell'incremento riguardo la produzione di materia prima necessaria a soddisfare l'aumento della domanda di biocombustibile ipotizzata sarà ottenuta allargando l'area delle coltivazioni di cereali o di piante oleose, a seconda dello scenario.

Secondo i calcoli dei modelli, per produrre un milione di tonnellate di petrolio equivalente saranno necessari nuovi spazi per le coltivazioni che vanno da circa 100 a circa 1900 chilometri quadrati nel caso del biodiesel e da circa 100 a circa 900 chilometri quadrati nel caso del bioetanolo. Per confronto, la superficie di San Marino è di circa 600 chilometri quadrati.

Le differenze tra i modelli nascono da diversi fattori, tra cui le banche dati di riferimento, la risoluzione spaziale e temporale e le metodologie con cui sono stati calcolati i parametri-chiave. Ma per certi aspetti anche il «disegno» dei differenti modelli è diverso (per esempio, equilibrio parziale o equilibrio globale) e quindi è diversa la «sezione» di realtà rappresentata. Queste differenze attribuiscono un'importanza diversa alle tre «soluzioni» concorrenti – i consumi di cibo diminuiscono, gli agricoltori incrementano le rese, gli agricoltori aumentano l'area coltivata – e in definitiva si riflettono sull'entità dell'effetto ILUC.

Ciò nonostante, l'approccio che prevede l'impiego di molti modelli è considerato utile per farsi un'idea delle incertezze in gioco e permette di avere indicazioni importanti sulla realtà o meno di un certo fenomeno. Nel caso in questione i modelli sembrano confermare un effetto ILUC come conseguenza della produzione di biocombustibili di prima generazione.

Bilancio delle emissioni

Come si diceva all'inizio dell'articolo, il processo di conversione di aree non coltivate a terreno agricolo in generale produce un'emissione extra di gas serra in atmosfera, dovuta alla somma di tre fattori: la perdita della biomassa preesistente (che spesso viene bruciata sul posto), l'emissione di carbonio organico dal sottosuolo a causa dei primi lavori di aratura e l'emissione di protossido di azoto (N_2O) prodotto dalla cosiddetta «mineralizzazione» dell'azoto a causa della perdita del carbonio stesso.

In generale questa emissione non è semplice da quantificare, e dipende molto dal tipo di terreno, dal suo uso precedente la conversione agricola e dalla particolare climatologia di ciascuna area. Facendo riferimento agli studi dell'Intergovernmental Panel on Climate Change si può stimare un valore medio mondiale di circa 40 tonnellate di CO_2 equivalenti per ettaro di terreno convertito, con un valore minimo di 10 e un massimo di 95. Per convenzione si considerano queste emissioni uniformemente presenti nei vent'anni successivi alla conversione del terreno, anche se ovviamente saranno più consistenti nei primi anni e meno negli ultimi. Applicando sia questo fattore di emissione sia alcune metodologie più sofisticate ai risultati dei modelli e distribuendo le emissioni per unità di energia prodotta, in termini di grammi di CO_2 equivalente per megajoule di potere energetico del biocombustibile ottenuto, si hanno risultati confrontabili con le equivalenti emissioni da combustibili fossili.

E qui si arriva al cuore del problema: lo studio comparativo ha mostrato che le emissioni di gas serra stimate dovute all'effetto ILUC possono variare fra i 10 e i 200 grammi di CO_2 equivalente per megajoule di potere energetico. A queste emissioni vanno poi aggiunte le emissioni prodotte dalla coltivazione e dal trasporto della materia prima, la sua trasformazione in biocombustibile e la sua distribuzione. Per confronto, considerando la media mondiale della produzione, l'intero ciclo «dal pozzo alle ruote» dei combustibili fossili produce un'emissione complessiva di gas serra fra 83,8 e 87 grammi di CO_2 equivalente per megajoule di contenuto energetico.

Come si nota, alcuni modelli prevedono che le emissioni attribuibili all'effetto ILUC rendano alcuni biocombustibili di prima generazione meno sostenibili dei combustibili fossili equivalenti, almeno per i primi vent'anni di produzione. A queste emissioni, poi, andrebbero aggiunte quelle degli altri passaggi del ciclo produttivo che dipendono da materia prima o processo e che si sta cercando di mantenere nei limiti dei criteri di sostenibilità. Si capisce quindi perché l'effetto ILUC, data la sua possibile entità, sia spesso citato

Cause ed effetti. In Indonesia la foresta tropicale (*sopra*), subisce la pressione delle coltivazioni di palme da olio dai cui frutti (*a fronte in alto*) si ricavano biocombustibili (*a fronte in basso*) per il mercato dei carburanti.

Ulet Ifansasti/Getty Images (*Sumatra*); John Van Hasselt/Corbis (*frutti palma da olio, pagina a fronte*); Hannah Johnston/Getty Images (*distributore di biocarburante*); J.F. Diorio/Agência Estado/AE/AP Photo/LaPresse (*frutti di palma*)

PER APPROFONDIRE

Indirect Land Use Change from increate biofuels demand, Comparison of models and results for marginal biofuelsproduction from different feedstocks. Edwards R., Mulligan D. e Marelli L., disponibile on line all'indirizzo **http://re.jrc.ec.europa.eu/bf-tp/download/ILUC_modelling_comparison.pdf.**

Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. Searchinger T. e altri, in «Science», Vol. 319, n. 5867, pp. 1238-1240, 29 febbraio 2008.

Report from the commission on indirect land-use change related to biofuels and bioliquids. Commissione Europea, COM (2010) 811, 22 dicembre 2010.

Per una rassegna di studi e pareri sull'effetto ILUC si può consultare la pagina relativa alla consultazione pubblica tenutasi fra agosto e ottobre 2010 e coordinata dalla Commissione Europea: **http://ec.europa.eu/energy/renewables/consultations/2010_10_31_iluc_and_biofuels_en.htm.**

come «l'elefante nella cristalleria» nella discussione sulla sostenibilità dei biocarburanti, che ha spostato il problema dal puro aspetto dell'ottimizzazione tecnologica dei processi di trasformazione all'aspetto ben più ampio del mercato globale agricolo.

L'effetto dovuto al cambiamento indiretto dell'uso del suolo ha fatto il suo ingresso da relativamente poco tempo nel dibattito sulla sostenibilità dei biocarburanti di prima generazione, ma la sua possibile entità ha scompaginato molte discussioni e modificato molte opinioni portando ulteriore materiale al dibattito. Infatti, sebbene questo effetto sia complesso da quantificare con precisione, attualmente non è possibile escludere che possa annullare i benefici dell'uso di biocombustibili di prima generazione in termini di emissioni di gas serra.

A fronte di tutto questo, i biocarburanti sono ancora un'interessante opportunità per numerosi altri aspetti, come detto nell'introduzione. Quindi è compito dei decisori politici ponderare queste e molte altre informazioni per giungere a una sintesi e a una decisione sul tema.

Concentrandoci sugli aspetti scientifici, possiamo notare che l'effetto dovuto al cambiamento indiretto dell'uso del suolo è un ottimo e interessante esempio del modo in cui gli effetti «indiretti» dello sviluppo tecnologico e delle sue nuove opportunità possano essere del tutto inattesi. Il sistema clima-energia-ambiente, in particolare, è ricco di interazioni reciproche e retroazioni difficili da capire e, ancora di più, da modellare quantitativamente. Ci si aspetta che in futuro altri studi più approfonditi, alcuni dei quali in corso nel nostro centro di ricerca, producano ulteriori dati, utili al dibattito ancora aperto. ■

Julian P. Sachs è professore associato di oceanografia all'Università di Washington. Il suo laboratorio si occupa di sviluppare tecniche molecolari e isotopiche da applicare allo studio dei processi climatici, geochimici e biochimici degli ultimi 2000 anni.

Conor L. Myhrvold si sta specializzando in geoscienze alla Princeton University. Ha lavorato con Sachs come assistente e fotografo nelle ultime spedizioni.

CAMBIAMENTO CLIMATICO

La migrazione delle piogge

Un gruppo di scienziati ha ricostruito le precipitazioni della fascia equatoriale negli ultimi 1200 anni e ha previsto come cambierà il clima tropicale entro il 2100

di Julian P. Sachs e Conor L. Myhrvold

La prima indicazione del fatto che la spedizione non procedeva secondo i piani l'avevamo avuta dagli scoppiettii emessi dal motore dell'imbarcazione, che poi si era fermata completamente. Eravamo in alto mare, erano le due di notte e quel silenzio non ci tranquillizzava affatto. All'improvviso, salpare dalle isole Marshall e navigare nell'Oceano Pacifico settentrionale a bordo di una piccola barca da pesca non sembrava più un'idea intelligente. Quel viaggio, che avrebbe dovuto portarci verso una nuova frontiera scientifica, in realtà ci aveva lasciato in una vasta oscurità punteggiata dalla schiuma bianca di qualche onda. Siamo un gruppo di climatologi, e il viaggio appena descritto (concluso per il meglio) era uno dei tanti con cui abbiamo compiuto un'impresa apparentemente impossibile: ricostruire la storia delle precipitazioni nell'Oceano Pacifico. Grazie a questi dati ci è poi stato possibile prevedere i cambiamenti climatici che fenomeni come l'accumulo dei gas serra, l'aumento delle temperature e la variazione delle precipitazioni tropicali potranno provocare in futuro. Per arrivare a questi risultati abbiamo girato il Pacifico in lungo e in largo, visitando numerose isole.

IN BREVE

La fascia piovosa che circonda il pianeta a nord dell'equatore si sta spostando a causa delle variazioni della temperatura atmosferica, alterando le precipitazioni di tutto il mondo.

I dati ottenuti da sedimenti raccolti sulle isole del Pacifico mostrano che la fascia oggi si trova tra 3°N e 10°N, la posizione più a nord degli ultimi 1200 anni.

Agli attuali ritmi del riscaldamento globale, la fascia potrebbe spostarsi verso nord di altri cinque gradi entro il 2100, lasciando senza pioggia le coltivazioni di milioni di persone in Ecuador, Colombia e altrove.

La siccità che ha caratterizzato il sud-ovest degli Stati Uniti negli ultimi anni potrebbe persistere, rendendo la zona simile alle regioni semiaride del Messico settentrionale.

Cortesia NOAA-NASA GOES Project

Alghe: i pluviometri del passato

Le alghe ricavano l'idrogeno di cui hanno bisogno dall'acqua in cui vivono. Misurando i due isotopi stabili dell'idrogeno (deuterio e prozio) contenuti nei lipidi delle alghe conservate nei sedimenti dei laghi tropicali, è possibile calcolare la quantità di pioggia caduta quando erano in vita.

Il rapporto deuterio/prozio (D/H) di molte alghe mostra una relazione lineare con il rapporto D/H dell'acqua. Quest'ultimo rapporto riflette, a sua volta, il rapporto tra precipitazioni ed evaporazione nell'area in cui c'è il lago. All'interno della zona coperta dalla fascia piovosa tropicale, dove le piogge sono frequenti e intense, il rapporto D/H nell'acqua del lago e del mare è basso. Al di fuori, invece, dove l'evaporazione può essere maggiore delle precipitazioni, il rapporto D/H è alto. Possiamo quindi usare la variazione del rapporto D/H nei lipidi delle alghe a varie profondità nei sedimenti per ricostruire le precipitazioni del passato.

Fortunatamente, le alghe regolano il proprio rapporto D/H anche in base alla salinità. Particolari condizioni presenti su Christmas Island hanno generato un esperimento naturale che ci ha permesso di osservare con esattezza questo comportamento. L'isola ospita una serie di piccoli laghi con analoghe temperature, livelli di luce, livelli di nutrienti e rapporti D/H, ma diversi livelli di salinità. Abbiamo scoperto che con l'aumento della salinità anche il rapporto D/H nei lipidi prodotti dai cianobatteri aumenta, seguendo una relazione lineare. Poiché la salinità di questi laghi di acqua salata diminuisce quando le piogge sono abbondanti e cresce quando il tempo è secco, l'effetto della salinità sul rapporto D/H dei lipidi segue lo stesso andamento delle precipitazioni, rendendo le alghe rilevatori sensibili dei cambiamenti idrologici.

Queste osservazioni sono utili solo se si possono associare a determinate date. L'età di un sedimento è determinata grazie a due isotopi radioattivi, carbonio-14 e piombo-210, che hanno un tempo di dimezzamento di 5730 e 22,3 anni rispettivamente. Confrontando il rapporto tra gli isotopi dell'idrogeno nei diversi periodi, abbiamo ricostruito le precipitazioni cadute negli ultimi 1200 anni in quest'area.

Alcuni fenomeni climatici, come per esempio el Niño e la Niña nel Pacifico, sono ben conosciuti. Un altro fenomeno, meno noto ma cruciale, riguarda una fascia di piogge intense che circonda il globo all'altezza dei tropici e che a ogni stagione si sposta verso nord o verso sud in base all'inclinazione del Sole. L'area in cui avviene questo spostamento è la zona di convergenza intertropicale.

Qualsiasi variazione della temperatura terrestre, dovuta per esempio alla radiazione solare o ai gas serra, può incidere su questa fascia, da cui dipende la produzione agricola dell'area equatoriale. Inoltre la fascia svolge un ruolo centrale nei monsoni asiatici, africani e indiani, e in quello delle grandi celle convettive che trasportano il calore dall'equatore ai poli. Eventuali variazioni nella sua posizione possono influenzare cambiamenti nella frequenza e nell'intensità di el Niño e la Niña, e nella forza e nella durata della stagione degli uragani nel Pacifico e nell'Atlantico. Se la fascia si spostasse in modo stabile, la variazione risultante delle precipitazioni altererebbe gli ambienti equatoriali, con effetti in tutto il pianeta. E abbiamo motivo di credere che la fascia si stia muovendo.

Fino a poco tempo fa non sapevamo se gli spostamenti passati della mediana della fascia erano confinati nell'intervallo attuale, tra le latitudini di 3°N e 10°N. Ora, però, le misurazioni sul campo hanno permesso di ricostruire i movimenti degli ultimi 1200 anni. Quattro secoli fa è iniziato un grande spostamento verso nord di circa cinque gradi (equivalenti a 550 chilometri) proseguito fino a oggi. Questa scoperta suggerisce che sono sufficienti piccoli aumenti dell'effetto serra per alterare in maniera fondamentale le precipitazioni tropicali. Ora possiamo prevedere gli spostamenti della zona fino al 2100 con il crescente riscaldamento dell'atmosfera. Inoltre possiamo prevedere se le piogge aumenteranno o meno nelle zone equatoriali, gli effetti probabili a latitudini maggiori in Asia e America centrale, e come questi cambiamenti potrebbero influire su clima e produzione di cibo. Probabilmente alcune aree avranno dei vantaggi, molti altre invece attraverseranno periodi di siccità.

Medioevo incerto

Prima della nostra ricostruzione storica, gli scienziati avevano pochi dati sugli spostamenti della zona di convergenza intertropicale avvenuti negli ultimi 1000 anni. La fascia è attiva al di sopra dell'equatore, ma la sua larghezza può variare da poche decine a svariate centinaia di chilometri, a seconda delle condizioni locali e della radiazione solare stagionale. La zona però è più pronunciata sul Pacifico, che quindi è la regione ideale per studiarne i movimenti. E dato che la fascia circonda il pianeta, le tendenze rilevate sul Pacifico indicano cambiamenti globali.

Gli scienziati possono ricostruire la forza del Sole grazie ad alcuni isotopi, come il carbonio-14 negli anelli di crescita degli alberi o il berillio-10 nelle carote di ghiaccio, e possono tracciare il profilo storico dei gas serra dell'intero pianeta grazie a bolle d'aria intrappolate nel ghiaccio delle regioni polari. Confrontando l'emissione solare e i livelli di gas serra con la posizione assunta della zona di convergenza intertropicale nei secoli, è quindi possibile prevedere come le precipitazioni tropicali potrebbero cambiare nel XXI secolo in risposta all'aumento delle emissioni di gas serra.

I ricercatori hanno individuato molti indicatori diversi delle temperature globali degli ultimi 1000 anni. In questo intervallo di tempo spiccano due periodi. Intorno all'800, le temperature erano simili a quelle della fine del XIX secolo. Successivamente, nel cosiddetto Periodo caldo medievale (800-1200), sono aumentate, raggiungendo livelli simili a quelli del XX secolo. In seguito si sono gradualmente stabilizzate per poi diminuire durante la Piccola era glaciale (1400-1850). Negli ultimi vent'anni, l'emissione di energia dal Sole è rimasta sostanzialmente costante, tuttavia temperature e livelli di anidride carbonica (il più abbondante gas serra di origine antropica) sono diventati significativamente più grandi rispetto a un qualsiasi momento degli ultimi 1200 anni.

Quando abbiamo iniziato il nostro lavoro, i dati storici sul clima delle regioni tropicali erano scarsi. Per esempio i sedimenti sul fondo del mare, che forniscono ottimi dati sul clima a scale di migliaia di anni, si accumulano troppo lentamente per registrare informazioni riguardo gli ultimi 1000 anni. Numerosi coralli producono bande annuali, ma raramente vivono più di 300 anni, e quindi non forniscono dati tra 300 e 1000 anni fa.

La mappatura delle precipitazioni quindi ci avrebbe fornito le informazioni mancanti sugli spostamenti della zona di convergenza negli ultimi 1000 anni. In genere, studiare le precipitazioni dopo che hanno colpito l'oceano è una causa persa. Ma piccole isole sparpagliate in tutto l'Oceano Pacifico hanno laghi e stagni grazie a cui ricostruire la storia. Negli ultimi sei anni abbiamo rac-

Una carota di sedimenti viene estratta dal fondo di un lago sull'isola Lib, nell'arcipelago delle Marshall. I resti di alghe conservati nel campione permettono di ricostruire le precipitazioni del passato. Un albero ci facilita il sezionamento della carota.

Cortesia Conor L. Myhrvold

colto decine di carote di sedimenti prelevati dal fondo di quelle acque in alcune delle più remote ed esotiche isole del Pacifico. I campionamenti sono stati fatti in punti a latitudini sopra, sotto e all'interno della fascia attuale e hanno coperto l'oceano in tutta la sua larghezza. Possiamo conoscere la posizione della fascia piovosa durante un dato periodo individuando i luoghi che hanno sperimentato precipitazioni intense in quel periodo a varie latitudini. Diminuzioni o aumenti simultanei delle precipitazioni, verso nord o verso sud, indicano uno spostamento compatto della fascia.

Il lavoro sul campo è un'avventura piena di imprevisti, problemi tecnici, barriere linguistiche e difficoltà a raggiungere i luoghi dei campionamenti. Per esempio quando siamo arrivati a Majuro, la capitale delle isole Marshall, entrambi gli aerei della compagnia locale, la Air Marshall Islands, erano guasti. Il viaggio citato all'inizio dell'articolo invece era stato deciso per valutare l'affidabilità della barca da pesca di un imprenditore locale, che non ci era sembrata particolarmente solida. L'escursione infatti si è conclusa con un'avaria ai motori durante il ritorno da un atollo vicino.

Per estrarre una carota senza alterarne il contenuto è necessario spingere, martellare e avvitare tubi di varia lunghezza nel fondo di un lago. Quasi tutti i siti che abbiamo carotato mostrano una sequenza unica di sedimenti. In alcuni casi, per esempio sul lago dell'atollo Teraina, abbiamo trovato strati profondi diversi metri di una sostanza gelatinosa di colore rosso, costituita da cianobatteri. Altre volte, come a Palau, il sedimento era composto da fango marrone ricco di solfuro di idrogeno costituito da frammenti di foglie di mangrovia alternati a strati di conchiglie di molluschi.

Dopo aver camminato a fatica nel fango e remato con la nostra piccola barca sulle acque poco profonde del lago, saggiavamo la profondità del sedimento e l'eventuale presenza di ostacoli con un lungo palo. Era normale rinunciare a un carotaggio per la presenza di pietre, coralli antichi, sabbia o radici.

Poiché il tasso di deposizione dei sedimenti è molto variabile, non sapevamo quanto potesse essere profondo un campione. In genere, un metro di sedimento risale a diverse centinaia di anni: nove metri di sedimento estratti a Teraina ci hanno fornito dati fino a 3200 anni fa. Quando è possibile, cerchiamo di arrivare fino al «basamento» sottostante, composto da sabbia, coralli o rocce vulcaniche, che segna il momento in cui i sedimenti hanno iniziato ad accumularsi nel lago, in modo da ottenere l'informazione più completa della storia del clima.

Il nostro obiettivo era ricostruire la storia delle precipitazioni, ma dovevamo misurare le caratteristiche degli ecosistemi nel clima attuale per sapere che cosa potevano rivelare le stesse misurazioni dell'ambiente del passato sul clima del passato. Quindi abbiamo raccolto campioni di acqua a diverse profondità per determinarne la composizione chimica e calcolare il rapporto tra gli isotopi dell'idrogeno, e abbiamo studiato le popolazioni di alghe e di altri microrganismi. Abbiamo catturato fitoplancton, zooplancton e microrganismi attraverso filtri in fibra di vetro fini e li abbiamo subito messi sotto ghiaccio, per poterne analizzare la composizione lipidica in un secondo momento. Abbiamo anche raccolto campioni della vegetazione vicina per poter analizzare anche i loro lipidi.

Dopo l'estrazione, le carote sono state trasportate nel laboratorio, evitando di agitare il sedimento. Per non mescolare i vari strati, la parte più alta delle carote, particolarmente soffice, è stata «sezionata» formando fette spesse un centimetro che poi sono state conservate in sacchetti di plastica.

Finito questo lavoro, siamo tornati al laboratorio dell'Università di Washington a Seattle con pile di contenitori termici pieni di sedimenti e acqua, e lunghe scatole di cartone contenenti le carote più solide. Misurando la quantità dei due isotopi stabili dell'idrogeno in alghe conservate in strati sempre più profondi di sedimenti, e datando i campioni, possiamo dedurre la quantità di pioggia che è caduta quando la flora era ancora in vita (*si veda il box a fronte*).

Dalla pioggia alla siccità

Nel corso degli anni abbiamo aggiunto un gran numero di dati alla mappa sempre più accurata degli spostamenti storici della zona di convergenza. La mappa è aggiornata di continuo con i nostri risultati più recenti. Ci vorranno mesi per analizzare i risultati della nostra ultima spedizione a Kosrae, in Micronesia, ma i dati dei viaggi precedenti, uniti a quelli di altri ricercatori, indicano che in passato, durante la Piccola era glaciale, piccole variazioni della temperatura atmosferica sono state accompagnate da grandi cambiamenti nelle precipitazioni tropicali, e regioni in precedenza piovose, come Palau, sono diventate aride, e altre in precedenza aride, come le Galápagos, hanno sperimentato piogge abbondanti.

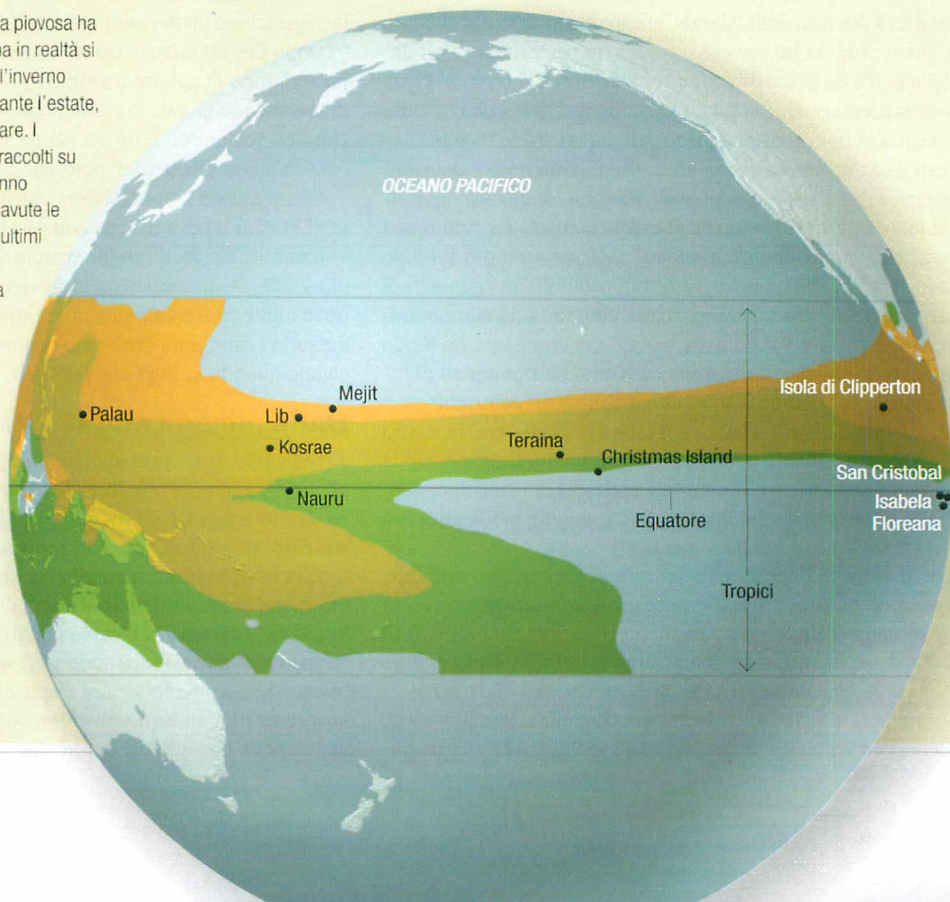
Il delicato rapporto tra pioggia e temperatura

La zona di convergenza intertropicale (*in rosso*), che circonda il pianeta, è prodotta dagli alisei che, soffiando in direzioni contrarie, creano una zona di bassa pressione sulle acque equatoriali riscaldate dal Sole. Qui l'acqua evapora e si condensa formando grandi quantità di pioggia. La bassa pressione crea anche grandi celle di alta pressione che trasportano il calore atmosferico a latitudini superiori, influenzando gli altri sistemi meteorologici.

Durante il Periodo caldo medievale, le temperature elevate dell'emisfero boreale hanno spinto la fascia piovosa verso nord (*a sinistra*), mentre durante la Piccola era glaciale l'abbassamento delle temperature l'ha fatta tornare verso sud. Oggi la fascia si trova più a nord di quanto non sia mai stata negli ultimi 1200 anni. Entro il 2100 l'aumento previsto dei livelli di gas serra potrebbe spingerla verso nord di altri cinque gradi.

Implicazioni: se la fascia piovosa dovesse spostarsi di altri cinque gradi verso nord, centinaia di milioni di persone vicino all'equatore rimarrebbero senza pioggia. L'agricoltura di sussistenza, il caffè e le banane, oltre naturalmente alla biodiversità tropicale, sarebbero a rischio in posti come l'Ecuador, la Colombia, il nord dell'Indonesia e la Thailandia. Altri paesi, come Guam ed El Salvador, si troverebbero nella fascia per la prima volta e riceverebbero molta più pioggia. Nel sud-ovest degli Stati Uniti le attuali gravi condizioni di siccità diventerebbero la norma.

Variazioni stagionali: la fascia piovosa ha una latitudine media di 7°N, ma in realtà si muove tra i circa 3°N durante l'inverno boreale (*in verde*) e i 10°N durante l'estate, a causa dell'irraggiamento solare. I campioni di sedimenti lacustri raccolti su numerose isole del Pacifico hanno rivelato dove e quando si sono avute le precipitazioni più intense negli ultimi 1200 anni, consentendoci di ricostruire gli spostamenti della fascia nel corso del tempo.

fonti: NOAA (*precipitazioni*); *Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia*, di M. E. Mann e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 105, n. 36, 2 settembre 2008 (*grafico temperature*)

Quando l'energia solare che arrivava sulla parte alta dell'atmosfera è diminuita di due decimi di percentuale per 100 anni, la zona di convergenza si è spostata a sud verso l'equatore di 500 chilometri.

Questa sensibilità non promette bene. L'Intergovernmental Panel on Climate Change prevede che, soprattutto a causa delle emissioni di trasporti e industrie, entro la metà del secolo la concentrazione di anidride carbonica raddoppierà rispetto al periodo preindustriale e triplicherà entro il 2100, causando un aumento delle temperature due o anche tre volte maggiore rispetto a quello della fine della Piccola era glaciale, dovuto solo all'aumento della radiazione solare.

Durante la Piccola era glaciale, la linea mediana della fascia piovosa era rimasta a sud di 5°N. Oggi, invece, si muove tra 3°N e 10°N. Gli aumenti delle emissioni di gas serra minacciano di spingerla di altri cinque gradi (550 chilometri) verso nord entro il 2100. La nuova posizione (tra 8°N e 15°N) implicherebbe un'alterazione significativa delle precipitazioni in molte regioni (*si veda il box a fronte*).

Esempi di quanto potrebbe accadere arrivano dalle nostre scoperte sulle isole. Teraina, situata a 5°N, oggi riceve tre metri di pioggia all'anno, mentre 400 anni fa ne riceveva meno di un metro e sperimentava un'evaporazione più intensa. All'altro estremo, gli altopiani dell'isola di San Cristobal, situata a 1°S nel semidesertico arcipelago delle Galápagos, erano più umidi durante la Piccola era glaciale.

Anche l'archeologia può aiutarci. Sulle isole dell'Indonesia e del Pacifico meridionale, un aumento marcato delle fortificazioni coincide con l'ultimo grande spostamento verso sud della zona di convergenza. La maggior parte delle fortificazioni (strutture in pietra usate per difendersi dalle invasioni) fu costruita tra l'inizio e la fine della Piccola era glaciale. La spiegazione più probabile è che, quando la fascia si spostò a sud, le isole più a nord subirono un calo della piovosità e i loro abitanti emigrarono verso le isole più meridionali.

La spostamento della zona di convergenza intertropicale potrebbe avere gravi conseguenze sull'economia di diversi paesi

Oggi desalinizzazione e basso costo dei trasporti hanno ridotto la dipendenza dalla pioggia, ma uno spostamento verso nord di altri cinque gradi sarebbe un pericolo per le centinaia di milioni di abitanti che vivono vicino all'equatore e dipendono dall'agricoltura di sussistenza, e per la biodiversità. La maggior parte dei paesi toccati dalla fascia attuale sono paesi in via di sviluppo, con popolazioni che probabilmente cresceranno molto durante i prossimi decenni, ed è improbabile che abbiano risorse per potersi adattare. In qualche decennio, o addirittura pochi anni, potrebbero sperimentare una riduzione della piovosità e un aumento delle inondazioni: i raccolti diminuirebbero e potrebbero prodursi carestie, tumulti e migrazioni.

Alcune regioni tra 10°N e 15°N, per esempio El Salvador e Manila, nelle Filippine, si troverebbero per la prima volta all'interno della zona e riceverebbero maggiori precipitazioni. Altre regioni (tra 3°N e 8°N) ne uscirebbero, e diventerebbero più aride. E ancora non è chiaro se in alcune aree questa riduzione delle precipitazioni possa essere compensata dalla forza dei monsoni asiatici e indiani.

Meno caffè, meno banane

Le aree umide nel nord dell'Indonesia, in Malaysia, Filippine, Micronesia, Thailandia e Cambogia potrebbero perdere buona parte delle piogge della zona di convergenza intertropicale che attualmente ricevono. Le colture adatte alle condizioni attuali non cresceranno più rigogliose. Il caffè, per esempio, come la vite, ha bisogno di molta acqua all'inizio della stagione di crescita e richiede più di 1,8 metri di pioggia all'anno per dare chicchi accettabili.

In America centrale, Ecuador e Colombia rimarrebbero fuori dalla fascia piovosa e diventerebbero più aridi. In Colombia, l'aumento dell'urbanizzazione potrebbe contribuire a rendere l'adattamento più facile, perché il paese non dipende più così tanto dall'agricoltura. Si tratta però pur sempre del terzo produttore mondiale di caffè e, come in Indonesia, sul lungo periodo un calo delle precipitazioni avrebbe effetto sui raccolti. La maggior parte delle zone dove si produce il caffè si trova sotto gli 8°N: nella seconda metà del XXI secolo in queste aree la situazione potrebbe diventare difficile. Le aree più a rischio sono quelle del sud e lungo la costa, perché diventerebbero le più lontane dalla fascia.

Il futuro dell'industria delle banane in Ecuador potrebbe essere tetro. Banane di qualità richiedono temperature elevate e tra 2 e 2,5 metri di pioggia all'anno, ma già oggi l'Ecuador è ben al di sotto della fascia, e le precipitazioni sono al limite minimo. Un ulteriore spostamento della zona di convergenza ridurrebbe le precipitazioni a meno di un metro entro il 2100, facendo chiudere l'industria delle banane. Un calo sostanziale delle rese potrebbe avvenire in tempi molto più brevi. Nelle Filippine, a causa di una stagione irregolarmente secca, all'inizio del 2010 metà delle piantagioni ha prodotto banane troppo piccole da commercializzare.

Altro settore a rischio è l'agricoltura di sussistenza. Se anche le popolazioni si spostassero verso le aree urbane, la mancanza di fonti di cibo locali rappresenterebbe un serio pericolo.

Se la fascia continuerà a spostarsi verso nord allo stesso ritmo degli ultimi 400 anni, anche gli Stati Uniti potrebbero essere colpiti. Alcuni cambiamenti potrebbero essere già iniziati: da anni il sud-ovest del paese vive una siccità che nel XXI secolo potrebbe diventare la norma se i gas serra continuassero ad aumentare. La crescita delle temperature e lo spostamento della zona di convergenza minacciano di spostare la fascia arida subtropicale, oggi sul nord del Messico, verso gli Stati Uniti.

Ancora non è chiaro se uno spostamento verso nord potrebbe influenzare frequenza e forza di uragani e monsoni. E ancora non abbiamo determinato alcun effetto possibile su El Niño e La Niña.

È necessario altro lavoro prima di lanciare l'allarme. I modelli non sono ancora riusciti a riprodurre con precisione la distribuzione storica e attuale delle precipitazioni tropicali. Se fosse possibile inserire i dati di carotaggi e altre fonti per produrre andamenti più vicini a quelli conosciuti, avremmo proiezioni più attendibili per il futuro. Molti scienziati si stanno occupando di questi esperimenti.

Noi continueremo a studiare i sedimenti delle isole tropicali, per definire con più precisione la posizione della fascia negli ultimi 1000 anni e prevedere dove si sposterà nei prossimi decenni. ■

PER APPROFONDIRE

Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. Mann M.E., in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 105, n. 36, pp. 13252-13257, 2 settembre 2008.

Southward movement of the Pacific Intertropical Convergence Zone AD 1400–1850. Sachs J.P. e altri, in «Nature Geoscience», Vol. 2, n. 7, pp. 519-525, luglio 2009.

Paleoclimates and the emergence of fortifications in the tropical Pacific islands. Field J.S. e Lape P.V., in «Journal of Anthropological Archaeology», Vol. 29, n. 1, pp. 113-124, marzo 2010.

Gli studi di paleoclimatologia del gruppo di Sachs sono disponibili on line all'indirizzo **http://faculty.washington.edu/jsachs.**

ARCHEOLOGIA

Nuove ipotesi su Stonehenge

Un numero sempre maggiore di esperti ritiene che il celebre cerchio di pietre facesse parte di una struttura cerimoniale molto più ampia

di William Underhill

William Underhill, giornalista freelance, ha pubblicato i suoi contributi su molti quotidiani e riviste, da «Newsweek» all'«Economist», dal «Guardian» al «Daily Telegraph».

Vince Gaffney mostra con un certo orgoglio l'immagine di un paesaggio arcaico. Si tratta dei primi risultati di uno scavo virtuale del più conosciuto monumento preistorico britannico: Stonehenge. Sullo schermo del computer appare l'immagine di un gigantesco cerchio di pali di legno, che sorgeva probabilmente a 900 metri da Stonehenge, una versione speculare ma meno sfarzosa del celebre sito megalitico.

L'anno scorso Gaffney, che insegna archeologia del paesaggio all'Università di Birmingham, alla testa di un team internazionale, ha iniziato un progetto triennale che sonderà la campagna intorno al celebre monumento per cercare di svelarne i misteri, stavolta con l'aiuto dei più avanzati mezzi tecnologici. I primi risultati sono già arrivati: dopo due sole settimane la squadra, armata di magnetometri ad alta potenza e radar in grado di penetrare il terreno, ha trovato le tracce di un probabile cerchio di pali di legno, forse la scoperta più importante avvenuta nel sito negli ultimi cinquant'anni.

Quello di Gaffney è uno dei molti recenti ritrovamenti che stanno spingendo gli scienziati a rivedere le teorie su Stonehenge. La scoperta di nuovi materiali, insieme al riesame di vecchi reperti attraverso tecniche archeologiche più moderne, ha generato un flusso costante di nuove informazioni. I progressi nella datazione al carbonio hanno permesso di ricostruire cronologie più precise, mentre l'analisi chimica dei resti umani ha consente di identificare con maggiore sicurezza i primi abitanti del luogo. Il ritmo è sempre più veloce. I radar possono produrre dati a una velocità inconcepibile anche solo pochi anni fa. (I suoi nuovi strumenti hanno consentito a Gaffney di raccogliere in due giorni la stessa quantità di dati raccolti in tre anni di lavoro in un precedente scavo a Stonehenge.) Con i nuovi dati sono arrivate puntuali anche le nuove teorie: Stonehenge non sarebbe stato un monumento isolato. Secondo Gaffney, «faceva parte di un panorama rituale molto più ampio».

IN BREVE

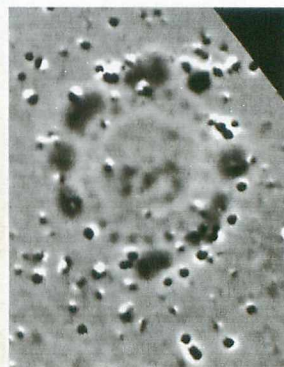
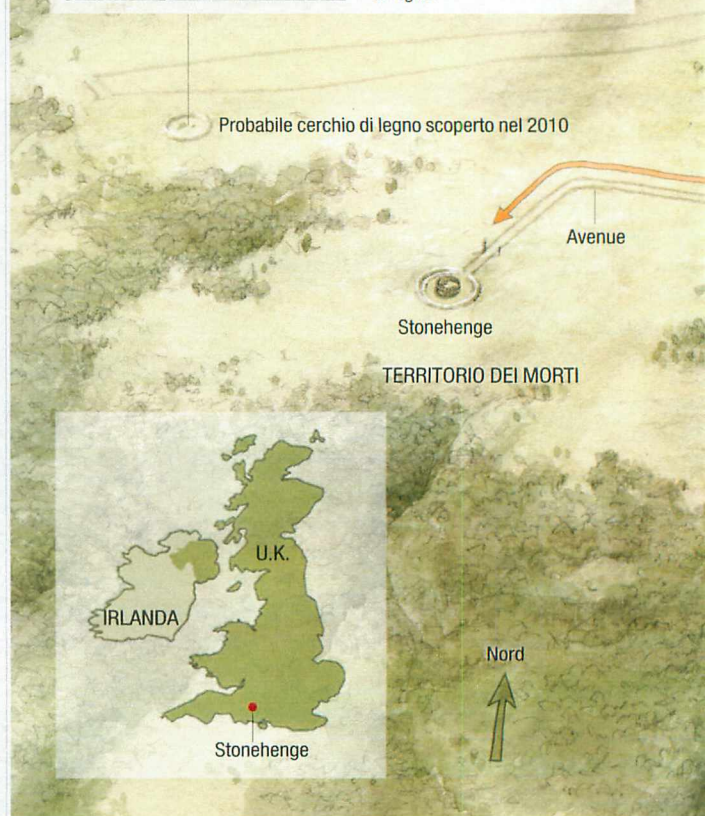
Gli archeologi tentano da secoli di capire quale fosse la funzione di Stonehenge.

Finora le interpretazioni si sono sempre concentrate sul grande cerchio di pietre, ma recenti scoperte rivelano che Stonehenge non è mai stata una struttura isolata.

Sembra invece che si trattasse del punto centrale di un complesso rituale molto più ampio, una scoperta che ha stimolato nuove teorie sulla vera funzione del monumento.

SCOPERTE

Terra dei vivi e dei morti

Negli ultimi anni gli archeologi hanno scoperto diverse importanti strutture nei dintorni di Stonehenge, che hanno condotto a nuove ipotesi sul modo in cui gli abitanti del Neolitico usavano il territorio. La teoria più accreditata ipotizza che i costruttori del famoso cerchio di pietre vivessero in un insediamento a Durrington Walls durante la costruzione del monumento e vi ritornassero poi per le celebrazioni stagionali, che si tenevano in una controparte in legno di Stonehenge chiamata Woodhenge. Di fronte a questa zona riservata ai vivi c'era il territorio destinato ai morti, su cui sorgevano Stonehenge e altri monumenti come Bluehenge. I defunti erano probabilmente trasportati lungo il fiume Avon da Durrington Walls fino a Bluehenge, dove venivano cremati prima di imbarcarsi per l'ultima tappa del loro viaggio, lungo il viale (la Avenue) che conduceva al luogo del loro riposo finale a Stonehenge.

Sotto la superficie
Nel 2010 alcuni ricercatori hanno analizzato l'area di Stonehenge per mezzo di magnetometri, scoprendo le tracce di quella che sembra una struttura gemella in legno, sita a 900 metri dal famoso cerchio di pietre. Nella scansione magnetometrica a sinistra, un cerchio di buche indica i punti in cui erano probabilmente piantati i pali di legno.

Stonehenge, circa 1600 a.C.

5000 anni fa Stonehenge era un semplice fossato circolare tra da due terrapieni concentrici, che forse circondava un cerchio di pali di legno. Nei 1000 anni successivi i costruttori aggiunsero e collocarono i monoliti. La struttura è raffigurata qui in base all'aspetto che probabilmente aveva 3600 anni fa. In posizione dominante sulla Piana di Salisbury, le sue pietre si allineavano con il Sole all'alba del solstizio d'estate.

Woodhenge

Nel 1925, immagini riprese dall'aereo rivelarono il sito di una struttura chiamata Woodhenge. Forse aveva un tetto, come nel disegno in alto, o forse era una struttura aperta. Benché eretta secoli dopo Stonehenge e Durrington Walls, suggerisce come avrebbe potuto apparire, una volta completato, l'antico cerchio di legno scavato dagli archeologi negli ultimi anni. Il Southern Circle che si trovava all'interno di Durrington Walls, per esempio, aveva circa le stesse dimensioni di Woodhenge. Orientato in modo da segnare il sorgere del Sole nel solstizio d'estate, il Southern Circle è l'immagine speculare di Stonehenge.

Cortesia Università di Birmingham (*scansione magnetometrica*)

Un mistero perenne

Gli archeologi si arrovellano intorno al significato di Stonehenge dal XVII secolo. Praticamente ogni nuova generazione di studiosi ha proposto una propria spiegazione ai grandi interrogativi su chi, come e perché abbia costruito il monumento, descrivendolo di volta in volta come un osservatorio astronomico, un luogo di sepoltura per persone importanti, un tempio dei druidi dell'Età del ferro e altro ancora. Prima che la sua costruzione fosse definitivamente attribuita alle popolazioni del Neolitico, la lista dei possibili costruttori includeva i Romani, gli antichi Danesi e mago Merlino.

Il problema è che gli indizi lasciati dai costruttori sono scarsi: qualche resto di carbone dei falò, schegge di pietra, ossa di bovini, punte di freccia e qualche piccone ricavato da un corno di cervo. L'unico elemento certo è una cronologia a grandi linee: intorno al 3000 a.C. furono scavati un terrapieno circolare e un fossato, che circondavano probabilmente una struttura in pali di legno, e nei 1000 anni successivi il monumento assunse gradualmente la sua forma definitiva. All'esterno, un anello di pietre di sarsen, giganteschi blocchi di arenaria probabilmente estratti da cave situate nelle colline intorno a Marlborough, a 30 chilometri di distanza. All'interno vennero invece collocate doleriti più piccole di colore bluastro (e per questo dette *bluestone*), trasportate in qualche modo per quasi 250 chilometri dalle montagne del Galles meridionale, e un ulteriore gruppo di grosse areniti disposte a ferro di cavallo. La collocazione dei monoliti sembra avere avuto un significato specifico, perché l'asse centrale della struttura è allineato con il Sole che sorge nel solstizio d'estate e con quello che tramonta nel solstizio d'inverno.

Dall'epoca della costruzione, tuttavia, diversi eventi hanno contribuito a confondere il lavoro degli archeologi. I primi costruttori di Stonehenge, per esempio, alterarono la disposizione delle doleriti, molte delle quali sono addirittura scomparse: oggi, delle circa 80 presenti in origine ne rimane solo la metà. E le abitudini sregolate del XX secolo non hanno contribuito al lavoro degli studiosi. I magnetometri di Gaffney hanno infatti rilevato le tracce dei rifiuti – pezzi di metallo e tappi di bottiglia – lasciati sul posto dalle folle che parteciparono ai festival musicali degli anni settanta e ottanta. Per non parlare della linea spettrale delle trincee scavate quando la zona fu usata per le esercitazioni militari durante la prima guerra mondiale o dei problemi causati dalla disattenzione dei primi archeologi, che permisero la scomparsa di numerose prove. Nel 1986, inoltre, l'inserimento di Stonehenge tra i siti Patrimonio dell'umanità dell'Unesco ha aiutato a proteggere il monumento e i suoi dintorni, ma ha anche limitato le possibilità di ulteriori scavi archeologici.

Dalla culla alla tomba

L'idea che Stonehenge fosse il punto centrale di una struttura rituale molto più ampia non è nuova: basta una rapida occhiata a una mappa per notare un grande numero di tombe sparse per tutta la campagna circostante, alcune delle quali più antiche di Stonehenge, e già nel 1925 le foto aeree hanno rivelato l'esistenza di un cerchio di pali di legno chiamato Woodhenge. Tuttavia si stanno lentamente accumulando prove che permettono agli archeologi di formulare ipotesi su come le cerimonie che regolavano la vita e la morte coesistessero nell'area.

Pochi anni prima che il team di Gaffney individuasse l'ultimo cerchio di pali di legno, altri scavi nell'area circostante Stonehenge avevano iniziato a portare alla luce gli elementi di uno scenario più ampio. Nel 2007 il gruppo dello Stonehenge Riverside Project guidato da Mike Parker Pearson dell'Università di Sheffield, che comprende alcuni dei maggiori archeologi del paese, ha annunciato la scoperta dei resti di un grande insediamento preistorico, forse il più grande della Gran Bretagna, a Durrington Walls, un enorme circolo neolitico situato appena 3 chilometri a nord-est di Stonehenge. Grazie a un'intelligente applicazione dell'analisi chimica al terreno (livelli di azoto e di fosforo) il team ha raccolto molte informazioni sulla probabile organizzazione delle case di quella popolazione, per esempio dove cucinavano o dormivano. (Le tracce di urina lasciate da un bambino che fa la pipì a letto possono essere identificate anche dopo millenni.) Datazioni al carbonio estremamente precise hanno inoltre permesso di scoprire che il villaggio fu occupato per meno di 45 anni, spingendo Parker Pearson e i suoi collaboratori a ipotizzare che si trattasse della residenza temporanea dei costruttori di Stonehenge, che si trasferirono una volta terminato il lavoro.

Il circolo di pietre potrebbe aver avuto una controparte in legno, insieme a cui avrebbe formato un unico spettacolare sito cerimoniale collegato al culto degli antenati e del Sole

Altrettanto importante è stato il ritrovamento dei resti di un secondo circolo neolitico, antecedente a quello scoperto da Gaffney: un anello di pali di legno, battezzato Southern Circle, o Cerchio Meridionale, allineati in modo da segnare il tramonto nel solstizio d'estate, l'immagine speculare della disposizione di Stonehenge. Parker Pearson ipotizza che Stonehenge avesse una controparte in legno, e che i due monumenti formassero un unico spettacolare sito cerimoniale legato al culto degli antenati e del Sole. «Questi reperti chiariscono la vera funzione del sito», afferma. «Abbiamo capito che Stonehenge era solo una delle due metà di un complesso più ampio».

Ciascuna delle due parti, secondo Parker Pearson, aveva un proprio ruolo simbolico. Probabilmente il grande cerchio di Stonehenge rappresentava il regno dei morti, un monumento permanente dedicato agli antenati, mentre il Southern Circle era l'opposto: un luogo secolare che i vivi frequentarono prima come costruttori del cerchio di pietre e poi durante le cerimonie stagionali. Nel formulare questa interpretazione, Parker Pearson è stato ispirato in parte da un collega del Madagascar, che ha notato analogie con il proprio paese, dove le case in legno sono spesso associate a edifici in pietra per i morti.

Test su ossa animali trovate a Durrington Walls sembrano confermare la teoria, suggerendo che il bestiame fosse portato dal sud dell'Inghilterra, a molti chilometri di distanza, per essere mangiato in banchetti rituali. Prove ulteriori sono emerse nel 2009, quando lo Stonehenge Riverside Project ha portato alla luce un cerchio di 25 *bluestone* a tre chilometri da Stonehenge (e alla stessa distanza da Durrington Walls), sulle rive del fiume Avon. Nel sito, battezzato Bluehenge, non c'erano più le stele di arenaria, forse portate proprio a Stonehenge, ma erano rimasti svariati frammenti della tipica roccia blu e, soprattutto, alcune tracce di carbone che suggeriscono che la struttura sia stata costruita circa 5000 anni fa. Forse, ipotizza Parker Pearson, Bluehenge era destinato alle cremazioni, un posto sacro dove i morti iniziavano il viaggio finale verso Stonehenge.

Le *bluestone* avevano certamente un significato particolare per quelle popolazioni del Neolitico: perché, altrimenti, collocarle al centro del monumento protette dai grandi monoliti di arenaria?

Un'altra teoria le mette addirittura al centro dell'intera storia di Stonehenge, assegnando a esso un altro ruolo ancora. Reperti raccolti nel 2008 durante uno scavo nell'area di Stonehenge (il primo all'interno del circolo dopo quarant'anni) appoggiano l'idea che la struttura fosse principalmente un luogo di cura, una destinazione per i malati che viaggiavano per centinaia di chilometri nella speranza di essere guariti. «A Stonehenge, come nelle grandi cattedrali medievali, si svolgevano riti diversi, ma la funzione principale era quella di luogo sacro di guarigione», afferma Tim Darvill, dell'Università di Bournemouth, che ha condotto gli scavi del 2008 insieme a Geoff Wainwright, ex presidente della Society of Antiquaries di Londra.

Poteri curativi

La teoria di Darvill e Wainwright potrebbe spiegare lo spettacolare sforzo di trasportare giganteschi monoliti di *bluestone* del peso di quattro tonnellate ciascuno per quasi 250 chilometri, dai monti Preseli, in Galles, fino al sud dell'Inghilterra. (In realtà l'impresa è più semplice di quanto sembri: l'anno scorso un gruppo di studenti ha dimostrato che probabilmente i monoliti sono stati fatti rotolare su piccole sfere di pietra; l'esperimento è stato organizzato dopo che sfere di quel tipo erano state trovate presso un sito simile in Scozia.) La loro teoria potrebbe inoltre spiegare perché manchino così tante *bluestone*. Durante gli scavi del 2008, Darvill ha trovato una quantità di minuscole schegge che apparivano ricavate volutamente da blocchi più grandi, forse per essere usate come talismani.

L'ipotesi Lourdes. L'analisi dei resti di un ragazzo ritrovati vicino a Stonehenge sembra indicare che il defunto provenisse dal Mediterraneo. È una delle scoperte che suggeriscono che il sito fosse un luogo sacro destinato alla cura, una sorta di Lourdes preistorica, più che un monumento ai defunti.

Ma sono i morti, non le pietre, a offrire la prova più convincente che Stonehenge fosse l'equivalente preistorico di Lourdes. Nel 2002 un gruppo di archeologi che stava scavando ad Amesbury, a circa cinque chilometri da Stonehenge, ritrovò una sepoltura maschile dell'Età del bronzo, risalente al 2300 a.C., con un ricco assortimento di tesori. L'analisi dello scheletro, battezzato «l'arciere di Amesbury» per via dell'attrezzatura con cui era stato sepolto, mostrò che aveva perso un ginocchio e l'infezione era penetrata nelle ossa. Cosa ancora più interessante, l'analisi chimica dei denti rivelò una miscela di isotopi di stronzio che suggeriva che l'uomo provenisse dalle Alpi (lo smalto dei denti si forma nei primi anni di vita e contiene un archivio chimico che rivela il luogo in cui una persona è cresciuta). Forse aveva viaggiato fino all'Inghilterra in cerca di una cura, o almeno sollievo dal dolore, nella già famosa Stonehenge. In effetti, molti degli scavi nelle tombe vicine hanno riportato in luce altri resti di individui con ferite gravi. Una delle interpretazioni più plausibili è quindi che l'arciere fosse uno dei molti visitatori che andavano a Stonehenge sperando in una guarigione.

Recenti analisi isotopiche sullo smalto di denti ritrovati in una tomba vicino a Boscombe nel 2003 sembrano confermare che l'arciere non fu l'unico visitatore ad arrivare da lontano. Sette degli occupanti della tomba avevano probabilmente passato una parte dell'infanzia in Galles, la stessa zona da cui provengono le doleriti blu. Inoltre, l'anno scorso Jane Evans, del British Geological Survey, ha condotto analisi simili sui resti di un ragazzo scavati nel 2005, scoprendo che il defunto proveniva da un clima più caldo, probabilmente mediterraneo. L'interpretazione di questi dati è tuttavia ancora da confermare.

Anche la teoria di Lourdes, come tutte le teorie su Stonehenge, ha comunque i suoi critici. L'obiezione più rilevante è che non ci sono dati sufficienti per confermare l'ipotesi che il numero di resti umani ritrovati nella zona che reca i segni di traumi sia sproporzionato. Per avvalorare la tesi serve un campione di ossa ben più ampio. Inoltre, anche se nuove scoperte rafforzassero l'ipotesi Lourdes, questo non indebolirebbe necessariamente la teoria di Parker Pearson, poiché le due spiegazioni non sono incompatibili. Non c'è dubbio che nell'arco di 5000 anni le persone abbiano usato il sito per scopi diversi e lo abbiano considerato in modi diversi.

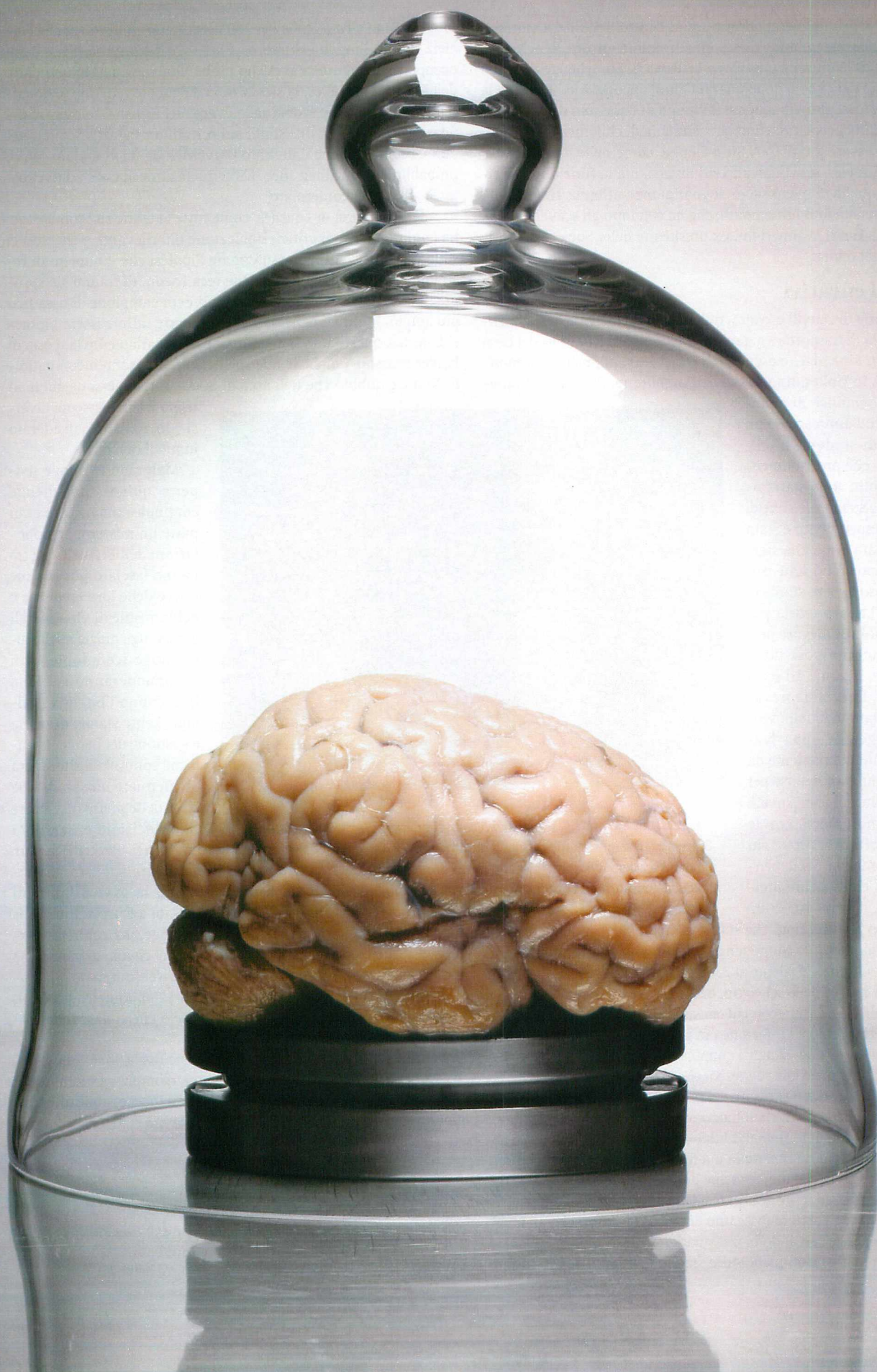
Malgrado le nuove scoperte, quindi, Stonehenge continua a rimanere in gran parte un mistero. Le popolazioni dell'Età della pietra hanno lasciato pochissime tracce delle loro credenze e del loro stile di vita, ma gli archeologi, grazie anche alle nuove tecnologie, non abbandoneranno la sfida. Quest'anno l'English Heritage, l'ente statale di tutela e gestione dei beni culturali che controlla il sito, spera di effettuare una scansione laser delle pietre alla ricerca di incisioni e iscrizioni rivelatrici. Parker Pearson, dal canto suo, sta analizzando le ossa di animali trovate a Durrington Walls nell'ambito del progetto Feeding Stonehenge, per capire esattamente in che modo vivessero i costruttori del circolo di pietre, che cosa mangiavano e da dove provenivano. Nel frattempo, gli studi *hi-tech* di Gaffney su un'area di oltre 12 chilometri quadrati, ci daranno il primo quadro completo di ciò che si nasconde sotto terra.

Senza dubbio possiamo attenderci nuove rivelazioni. Stonehenge, sostiene Gaffney, sembra parte di una «complessa moltitudine di monumenti». Complessa sì, ma forse non inaccessibile all'indagine scientifica. ■

PER APPROFONDIRE

Stonehenge excavations 2008. Darvill T. e Wainwright G., in «The Antiquaries Journal», Vol. 89, pp. 1-19, pubblicato on line il 21 aprile 2009.

Who was buried at Stonehenge? Parker Pearson M. e altri, in «Antiquity», Vol. 83, n. 319, pp. 23-39, ottobre 2009.

Sito web dell'Unesco su Stonehenge: **http:/whc.unesco.org/en/list/373.**

PSICOLOGIA

NEUROBIOLOGIA della FORZA D'ANIMO

Dopo un lutto o un altro trauma emotivo, la maggior parte delle persone riesce a superare il dolore in tempi brevi. Qual è l'origine di questa capacità di resistere ai colpi della sorte?

di Gary Stix

Autunno 2009. Jeannine Brown Miller sta tornando a casa in macchina con il marito dopo avere fatto visita alla madre a Niagara Falls, nello Stato di New York. Incontrano un posto di blocco della polizia, vicino all'ingresso del campus della Niagara University; c'è anche un'ambulanza. La signora Miller sa che Jonathan, il figlio diciassettenne, è uscito in macchina. Pur non avendo capito che cosa stia accadendo, l'istinto le suggerisce di fermarsi. Chiede a uno dei soccorritori di verificare se l'auto sia targata «J Mill». Qualche minuto dopo un poliziotto e un cappellano si avvicinarono. La donna ha capito, prima ancora che le parlassero, quale sarebbe stata la loro risposta.

La perdita del figlio si rivelò devastante. Nei giorni immediatamente successivi alla morte di Jonathan il tempo si trascinò lento. «La prima settimana - racconta Jeannine - fu eterna. La mia vita era scandita dai minuti, più che dalle ore».

Il sostegno arrivò dalle fonti più diverse: 500 compagni di scuola di Jonathan parteciparono al funerale, una dimostrazione di affetto che contribuì ad alleviare il dolore. La donna trovò anche conforto nella fede. Dopo due settimane dall'evento riprese il suo lavoro di consulente per le risorse umane. Un paio di mesi dopo l'incidente ebbe la forza di andare nel ristorante in cui aveva mangiato con il figlio il giorno della sua morte. Il sostegno della comunità non venne mai meno: ci fu una cerimonia in onore di Jonathan durante la consegna dei diplomi, una pagina Facebook

IN BREVE

Alcuni sostengono che la resilienza psicologica allo stress sia un evento *relativamente* raro, un prodotto di geni fortunati o di buoni genitori.

Da qualche anno le ricerche sul lutto e sui disastri naturali hanno scoperto invece che la resilienza è sorprendentemente comune.

L'uomo reagisce ai traumi adottando comportamenti diversi, alcuni dei quali potrebbero essere definiti narcisistici o disfunzionali.

Eppure questi comportamenti – controintuitivi ma funzionali, come li definisce un ricercatore – risultano a conti fatti un adattamento agli eventi più stressanti della vita.

Alcuni psicologi si domandano se gli interventi per addestrare alla resilienza – programmi già avviati nelle scuole e in campo militare – saranno un vero aiuto, considerando che l'uomo ha la tendenza naturale a cavarsela da solo.

Fotografia realizzata al Dipartimento di psicologia e Istituto di neuroscienze, Università del Texas ad Austin

Jonathan «J Mill» Miller viene aggiornata regolarmente, un bar locale serve il caffè «76», in ricordo del numero della maglia, ora ritirata, che il ragazzo indossava durante le partite di football. A un anno di distanza, la madre piange ancora ogni giorno, ma ha scoperto diversi modi per combattere il dolore.

Quando capita il peggio – un lutto, un attacco terroristico, un'epidemia, una catastrofe naturale – proviamo un senso di shock e disorientamento. Eppure i neuroscienziati e gli psicologi che studiano le conseguenze di questi terribili eventi hanno imparato alcune cose sorprendenti: la maggior parte delle vittime di una tragedia si riprende presto e ne esce quasi sempre senza gravi scalfitture emotive. La maggior parte di noi dimostra una sorprendente resilienza naturale agli eventi peggiori della vita.

Lo studio della resilienza comincia a svelare i suoi meccanismi grazie all'*imaging* cerebrale e ai database dei geni, che integrano i tradizionali strumenti usati dagli psicologi, i questionari sociologici. Dopo un disastro, fattori biochimici, genetici e comportamentali operano insieme per ripristinare il nostro equilibrio emotivo. Gli scienziati cercano di capire i fondamenti della forza emotiva, una conoscenza che potrebbe insegnarci il comportamento da adottare quando il processo naturale di guarigione si inceppa.

Nel frattempo il mondo scolastico, militare e aziendale non aspetta un quadro completo dei geni, dei neurotrasmettitori e quant'altro prima di avviare programmi per vaccinarci contro gli stress più severi della vita. In assenza di un manuale definitivo sul coraggio, è in corso un vivace dibattito: i tentativi di manipolare quella che potrebbe essere una qualità innata non rischiano di peggiorare la situazione? Il dibattito assume una speciale urgenza oggi che l'esercito statunitense sta iniziando un gigantesco programma di addestramento per imprimere la resilienza a più di un milione di soldati e alle rispettive famiglie, uno degli interventi psicologici forse più vasti mai intrapresi da una singola istituzione.

La proteina DeltaFosB proteggerebbe i topi, e forse anche l'uomo, dallo stress indotto da situazioni di solitudine o minaccia, aumentando il livello di resilienza

I meccanismi della resilienza

Nel 1917 Freud scrisse sulla necessità di «elaborare il lutto», nel quale tratteniamo l'energia emotiva, la libido, come lui stesso la definì, che avevamo investito nell'«oggetto inesistente», ossia la persona scomparsa. La concezione ottocentesca della psiche come sistema di condutture che canalizzano le forze subliminali ha prevalso fino a pochi decenni fa. Fino a quando gli psicologi e i neurobiologi hanno cominciato a cercare spiegazioni alternative.

Gli scienziati hanno iniziato a considerare la natura della resilienza, un termine che deriva dal latino *resiliens* – ossia saltare indietro, rimbalzare – e che viene usato nel campo delle scienze fisiche. In senso psicologico, spiega Christopher M. Layne, ricercatore all'Università della California a Los Angeles, «significa che siamo capaci di riprendere una funzionalità normale in breve tempo», come una molla d'acciaio che si piega in condizioni di stress, e che poi ritorna nella condizione iniziale. Chiaramente, nella nostra testa nessuna striscia metallica si comporta da termostato, piegandosi quando le nostre emozioni diventano calde, e innescando una cascata neurochimica che ci riporta a un punto stabilito di equilibrio emotivo. Gli scienziati hanno scoperto che la biologia umana è più complicata di questa analogia con i metalli.

La resilienza ha inizio a un livello primario. Poniamo il caso che qualcuno ci molli un ceffone. L'ipotalamo – una stazione di ritrasmissione del cervello che collega il sistema nervoso e il sistema endocrino – produce un segnale di stress, il fattore di liberazione dell'ormone corticotropo, il quale origina una cascata chimica che ci dice: «sferra un pugno o scappa». Il nostro cervello pulsa come fosse un lampeggiatore: lotta o scappa, lotta o scappa. Dopo un po' la tempesta biologica si placa. Se siamo costantemente sotto pressione per difendere il territorio, i nostri ormoni dello stress zampillano in continuazione. Uno di questi ormoni, il cortisolo, prodotto dalle ghiandole surrenali, può danneggiare le cellule cerebrali dell'ippocampo e dell'amigdala, le regioni coinvolte nella memoria e nelle emozioni, al punto da devastarci fisicamente ed emotivamente. Per fortuna, molti di noi hanno un alleato, la resilienza.

Aiutati da particolari sostanze biochimiche protettive, gli ormoni dello stress sembrano disattivarsi più rapidamente nelle persone resilienti. Di recente, gli scienziati hanno scoperto diversi segnali biologici, indicatori della nostra capacità di superare le avversità. La lista è lunga, e comprende sostanze come il DHEA (deidroepiandrosterone), che riduce gli effetti del cortisolo, e il neuropeptide Y, capace, fra l'altro, di ridurre l'ansia, contrastando gli effetti del fattore di rilascio dell'ormone corticotropo secreto dall'ipotalamo. Nel 2000, Dennis S. Charney e altri ricercatori del Veteran Affairs Hospital affiliato alla Yale University, a West Haven, nel Connecticut, hanno scoperto che lo stress da finti interrogatori delle forze speciali statunitensi che partecipavano all'esperimento diminuiva più rapidamente nei soggetti con una concentrazione più elevata di questa sostanza nel sangue. Nel 2006 alcuni ricercatori del Bronx Veterans Affairs Medical Center hanno scoperto che livelli superiori di questa sostanza nei reduci di guerra indicava un rischio inferiore di disturbo da stress post-traumatico.

Molte vie biologiche – catene di proteine interattive – contribuiscono alla resilienza. Finora però gli scienziati hanno messo insieme solo pochi suggestivi indizi del profilo biologico dell'animo audace. Nel maggio 2010 Eric J. Nestler, del Mount Sinai Medical Center, ha riferito con i colleghi che la proteina DeltaFosB proteggerebbe i topi, e forse anche l'uomo, dallo stress indotto da una situazione di solitudine o di minaccia. DeltaFosB si comporta come un interruttore molecolare che attiva un intero complesso di geni, e le proteine che questi geni codificano. Ha registrato concentrazioni elevate nei roditori resilienti e scarse nel tessuto cerebrale *post mortem* dei pazienti depressi. Un farmaco che aumenta la concentrazione di DeltaFosB potrebbe perciò proteggere contro la depressione e più in generale rinforzare la resilienza.

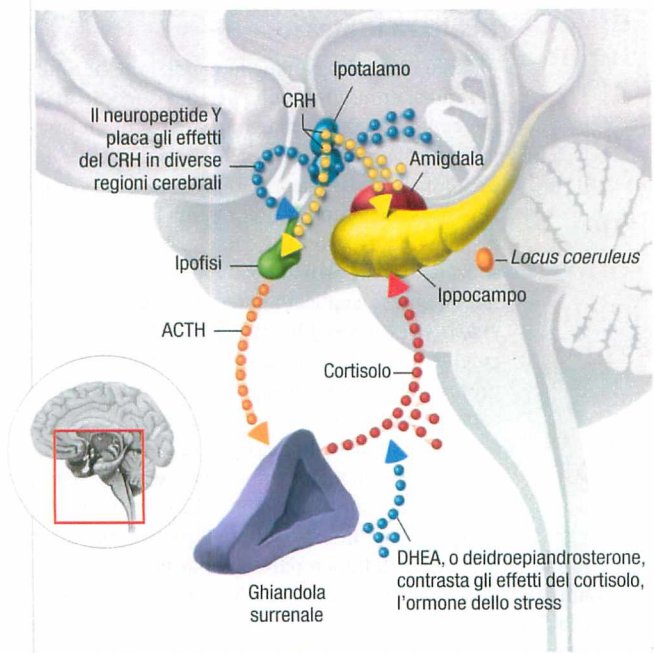
Eppure ci vorrà del tempo prima che una bibita contenga una sostanza per aumentare la resilienza. Un giorno una pillola che incrementa la produzione cerebrale di DeltaFosB potrebbe diventare realtà. Per ora le ricerche riguardano i roditori: i ricercatori indagano le complessità di una sostanza che non solo consente ai topi di resistere agli sforzi dei ricercatori di laboratorio di spaventarli, ma potrebbe anche – non senza inquietarci – svolgere un ruolo nelle sensazioni di appagamento della dipendenza da sostanze.

Una schiera di altri geni e proteine potrebbe essere implicata. Tuttavia, come nel caso di DeltaFosB, i ricercatori devono essere cauti. Il gene della 5HTT (5-idrossitriptamina), un tempo considerato un «gene fondamentale della resilienza», ci mette in guardia

AMPLIFICATORI DELLA RESILIENZA

Smorzare il sistema d'allarme del cervello

Di fronte al pericolo, il cervello avvia una cascata chimica che ci prepara ad attaccare oppure a fuggire. A sua volta, una serie di altre sostanze prodotte dal cervello può smorzare questa risposta, promuovendo così la resilienza allo stress. Un particolare ciclo chimico inizia quando l'ipotalamo produce il fattore di rilascio dell'ormone corticotropo, che induce l'ipofisi a secernere l'ormone adrenocorticotropo (ACTH) nel sangue, che induce a sua volta le ghiandole surrenali a rilasciare cortisolo. Quest'ultimo aumenta la capacità dell'organismo di rispondere a situazioni impegnative, anche se una quantità eccessiva può creare nel tempo un danno duraturo. Affinché rimanga tutto sotto controllo, una serie di sostanze (*due delle quali illustrate qui sotto*) smorza la risposta allo stress. I farmaci o la psicoterapia potrebbero stimolare la produzione di questi *stressbuster*, o «acchiappastress».

Illustrazione di Jen Christiansen

dalle insidie di una concezione puramente genetica. Circa dieci anni fa, diversi studi avevano mostrato che le persone portatrici della versione più lunga del gene sembravano resistere alla depressione meglio dei portatori della versione più corta; in altre parole, che fossero più resilienti.

Il gene finì sotto i riflettori nel 2006, quando un articolo sul «New York Times Magazine» segnalò l'arrivo imminente di un test basato sulla 5HTT per valutare la resilienza. Questo ottimismo si rivelò una bolla di sapone, un *déjà vu* negli studi che pretendono di collegare un comportamento complesso a un singolo gene. Due recenti sistematiche analisi panoramiche di queste ricerche hanno scoperto che le prove non confermavano un legame tra una variante del gene della 5HTT e la depressione indotta da eventi stressanti. Un'altra cosiddetta metanalisi ha in realtà trovato una connessione. Se il gene è legato alla resilienza, si tratta probabilmente di un legame debole. In definitiva, la psicobiologia della resilienza potrebbe aprire la via a nuovi farmaci e a metodi più precisi per valutare il nostro adattamento agli stress della vita. Per ora, idee per capire la mente resiliente deriveranno non già dallo studio di un gene o di un recettore cellulare, bensì dall'esecuzione delle care vecchie interviste con persone travolte da una crisi personale.

Farcela, in qualche modo

Gli scienziati del comportamento hanno accumulato decenni di dati su adulti e bambini esposti a un trauma. George Bonanno, del Teachers College alla Columbia University, ha dedicato la sua carriera di psicologo a documentare le varietà di esperienze resilienti, focalizzandosi sulle reazioni alla morte di una persona cara e a ciò che accade in situazioni di guerra, terrore o malattia. Come egli ha riscontrato, la maggior parte delle persone si adatta sorprendentemente bene ai capricci della sorte: la vita rientra nella normalità dopo pochi mesi dal trauma.

Bonanno studia dall'inizio degli anni novanta il modo in cui reagiamo emotivamente al lutto e ad altri eventi traumatici, da quando era all'Università della California a San Francisco. All'epoca era diffusa l'idea che la perdita di un caro amico o di un parente lasciasse indelebili cicatrici emotive, e che l'elaborazione freudiana del lutto o una simile panacea fossero necessarie affinché la persona colpita riprendesse una vita regolare. Bonanno e colleghi hanno affrontato il compito senza pregiudizi. Eppure, durante gli esperimenti, non hanno trovato traccia di ferite alla psiche, prospettando la possibilità che la resilienza psicologica prevalga, che non sia un evento raro per individui baciati da geni propizi o da genitori dotati. Questa consapevolezza ha sollevato la preoccupante possibilità che versioni più recenti di elaborazione del lutto facciano più danno che altro.

Come esempio delle sue ricerche, Bonanno e il collega Dacher Keltner hanno analizzato le espressioni facciali di persone che avevano perso di recente una persona cara. I filmati non recavano indizi di alcun dolore permanente da estirpare. Come era prevedibile, gli spezzoni rivelavano tristezza, ma anche rabbia e felicità. Di tanto in tanto l'espressione di una persona afflitta dal dolore si trasformava: dall'abbattimento alla risata, e viceversa.

Erano autentiche le risate fragorose, si domandavano i ricercatori? Proiettarono i video al rallentatore per osservare la contrazione dei muscoli orbicolari dell'occhio, movimenti conosciuti come espressioni di Duchenne, le quali confermano che le espressioni del riso sono davvero tali. A quanto risultava, le persone in lutto manifestavano un sentimento vero. La stessa oscillazione tra tristezza e allegria si è ripetuta nel corso degli studi.

Che significa tutto questo? Bonanno suppone che la melanconia ci aiuti a guarire dopo una grave perdita, ma un dolore implacabile, come la depressione clinica, è troppo gravoso da sopportare, annientando la persona colpita dal lutto. I circuiti del nostro cervello impediscono perciò che la maggior parte di noi rimanga bloccata in uno stato psicologico inconsolabile. Se le nostre emozioni diventano troppo calde o troppo fredde, ecco che una sorta di sensore interno – che potremmo chiamare con un neologismo «resilienstato» – ci riporta a uno stato di equilibrio.

Con le sue ricerche, Bonanno ha spaziato oltre il lutto. Prima all'Università Cattolica e poi alla Columbia, ha intervistato i sopravvissuti a violenze sessuali, i newyorkesi che hanno vissuto gli attacchi dell'11 settembre e gli abitanti di Hong Kong sopravvissuti all'epidemia di SARS. Ovunque andasse, la storia si ripeteva: «Buona parte delle persone dava l'impressione di reagire bene».

Ne è emersa una struttura familiare. Dopo una morte, una malattia o un disastro, da un terzo a due terzi dei sopravvissuti ma-

nifestava pochi sintomi che meritavano di essere classificati come trauma, tra cui problemi di sonno, ipervigilanza o flashback. A sei mesi dagli eventi il numero di persone che manifestava ancora i sintomi era sceso il più delle volte sotto al 10 per cento.

E allora, se la maggior parte di queste persone non si confrontava con un dolore durevole, quali erano i loro sentimenti? Erano forse uscite illese? Difficile a dirsi. L'introduzione, nel 1980, del disturbo post-traumatico da stress nel *Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali* ha ristretto la prospettiva degli psicologi. La cornice stabilita dal manuale ha spinto i ricercatori a studiare solo i gruppi che esaudivano la classificazione stereotipata di disturbo post-traumatico da stress. La nuova definizione di trauma implicava che i pazienti che manifestavano i sintomi dello stress fossero inclusi a forza in questo contenitore diagnostico, anche se alla fine riuscivano a cavarsela.

Bonanno ha cominciato a indagare i sentimenti delle persone che non avevano cercato aiuti psicologici. Nelle ricerche sociologiche, quando compilano i questionari, i soggetti hanno ricordi distorti degli eventi passati. Quando il loro mondo sprofonda, capita che dipingano le cose più nere della realtà o che le ricordino catastrofiche. Allora Bonanno ha cominciato a eseguire i cosiddetti studi di prospettiva, in cui seguiva un gruppo di individui anziani prima di una morte, una tecnica che consentiva di eliminare quella che gli psicologi definiscono deformazione (o bias) del ricordo. Ha inoltre usato una sofisticata tecnica statistica – la *latent growth mixture modeling* – che gli ha permesso di delineare con maggiore precisione i tipi di reazione specifici vissuti dalle persone successivamente al trauma.

Che cosa succede alle persone che in presenza di un trauma non riescono ad assorbirne l'urto e sono preda di ansia e depressione? È possibile insegnare loro il coraggio?

Simili ai precedenti studi sul riso, questi sguardi più incisivi al processo del lutto coglievano un'ampia gamma di risposte che non si inquadravano nelle categorie usate per indicare un adattamento fisiologico. Questa confusione ha indotto Bonanno a definire queste risposte meno classiche con un'espressione traducibile come «superamento controintuitivo». Alcune persone adottavano il cosiddetto *self-enhancing bias*, la tendenza ad attribuirsi il merito personale, una percezione esagerata di se stessi e delle proprie azioni, che in altre circostanze avrebbe sfiorato il narcisismo. Nel caso della persona in lutto, queste lievi distorsioni potrebbero avere avuto l'utilità di evitare l'elucubrazione di pensieri del tipo «avrei potuto fare qualcosa per evitare che ciò accadesse?».

L'accrescimento dell'Io non era l'unica strategia. Alcune persone avevano represso i pensieri e le emozioni negative; altre si erano convinte di riuscire a gestire qualunque situazione negativa. Altre ancora lo fecero ridendo e sorridendo, per quanto molti psicologi la considererebbero una forma patologica di negazione. Bonanno ha scoperto che il superamento controintuitivo era utile non solo alle persone in lutto, ma anche ai civili bosniaci di Sarajevo nei momenti successivi al conflitto balcanico e ai testimoni dell'attacco alle Torri Gemelle. Le persone che ha scoperto erano simili a Fred Johnson, che sopravvisse all'uragano Katrina.

Johnson, un uomo di 57 anni che risiede da sempre a New Orleans, ha reagito a Katrina unendosi al personale di soccorso nel Superdome. Le code dallo stadio agli autobus che lasciavano la città erano uno spettacolo inquietante. Alcuni genitori erano così affranti che cercavano di porgere i figli piccoli ai soccorritori; altri avevano perso il controllo di sé. Inorridito, Johnson andò quasi fuori di senno. Si allontanò dall'ingresso della gigantesca struttura e scoppiò in lacrime. La situazione era troppo gravosa da sopportare. Poi, qualche minuto dopo, smise di piangere: era entrato in funzione il suo «regolatore», come lo definisce lui stesso. E aggiunge: «Quando vengo sopraffatto, credo di seguire un processo di questo tipo: ci piango su, mi asciugo le lacrime e poi mi rimetto al lavoro, e non continuo a crogiolarmi nel pianto. Credo sia il mio regolatore. Così conservo il mio equilibrio».

Gli studi di Bonanno sono stati apprezzati, ma non tutti sono convinti che la resilienza sia innata come i suoi studi fanno intendere. Alcuni colleghi sostengono che la sua definizione del termine sia troppo generica. Bonanno riconosce che le avversità nell'infanzia possono generare conseguenze più durevoli delle emozioni transitorie che scaturiscono dopo un lutto in famiglia o un disastro naturale. Eppure, le reazioni della maggior parte degli adulti – che si tratti della perdita del lavoro o di un'inondazione – rivelano che la capacità di assorbimento rimane la regola per l'intera vita adulta.

Realizza te stesso

Se la resilienza rimane la condizione normale per quasi ognuno di noi, che cosa succede al 10 per cento di persone che, in presenza di un trauma, non assorbirà l'urto e sarà preda di ansia e depressione? È possibile insegnare loro il coraggio? Una risposta definitiva non c'è, ma le prove di cui disponiamo invitano alla cautela. Gli psicologi e i soccorritori che arrivano sul luogo di un disastro hanno spesso applicato la tecnica del *critical incident stress debriefing*, o debriefing dopo un incidente. Richiede che gli individui raccontino le proprie esperienze per spazzare via, come in una catarsi, i sintomi incipienti causati dal trauma.

Diversi studi svolti per oltre 15 anni hanno dimostrato che la tecnica non così è efficace, e che può addirittura causare danni. Talvolta nelle sessioni di gruppo una persona può trasmettere il panico alle altre, peggiorando la situazione di buona parte dei partecipanti. Dopo lo tsunami del 2004 nell'Oceano Indiano, l'Organizzazione mondiale della Sanità ha messo in guardia contro i debriefing perché indurrebbero alcune persone a provare un turbamento maggiore. L'esperienza con i debriefing solleva dubbi sui più recenti tentativi di insegnare la resilienza facendo appello a tecniche ricavate dagli strumenti della psicologia positiva.

Il movimento della psicologia positiva è nato formalmente nel 1998, quando, al meeting annuale della American Psychological Association, Martin Seligman, docente all'Università della Pennsylvania, dichiarò che gli psicologi non avrebbero dovuto occuparsi esclusivamente della malattia mentale. Seligman è approdato alla psicologia positiva dopo avere scoperto che dopo l'esposizione a shock elettrici i cani entravano in uno stato di completa sottomissione, che egli definì «impotenza appresa». Seligman trasse ispirazione da quella ricerca per esplorare la possibilità di interventi clinici che realizzassero l'esatto contrario: incoraggiare l'ottimismo, il benessere e la resilienza dei pazienti.

Seligman ha avuto un ruolo fondamentale nel varare una ventina d'anni fa il Penn Resilience Program, prezioso in particolare per gli studenti delle scuole superiori. Attingendo a varie teorie sul modo per combattere la depressione, l'addestramento preve-

de tecniche come il *reframing* (ricontestualizzazione) mentale, usato dagli psicologi cognitivo-comportamentali per rivedere i propri pensieri sotto una luce più positiva. Valutazioni del programma tramite almeno 21 studi controllati con 2400 bambini di età compresa tra gli 8 e i 15 anni hanno mostrato l'efficacia nel prevenire l'ansia e la depressione.

Oggi l'esercito statunitense applica metodi simili a più di un milione di soldati e alle rispettive famiglie, in quello che viene definito il «più grande intervento psicologico intenzionale» mai tentato. Il programma, del costo di 125 milioni di dollari e della durata prevista di cinque anni, conta già 800.000 soldati che lavorano con uno «strumento di valutazione globale» *on line* – un test psicologico che misura, tra gli altri, il benessere emotivo e spirituale – e che seguono corsi per accrescere la «fitness» in vari aspetti della resilienza emotiva. Ogni mese 150 soldati vengono all'Università della Pennsylvania per prepararsi a insegnare la resilienza al personale militare. Infine i dati raccolti confluiranno in un database di dati statistici psicologici e sanitari, cui i ricercatori in campo civile attingeranno per gli studi sulla resilienza. «Mai in psicologia la scienza aveva raggiunto una portata così vasta», conferma Seligman.

Il programma è partito a spron battuto: il Capo di Stato Maggiore dell'esercito William Casey era impaziente di aiutare i soldati impiegati in più missioni. Nessuno studio pilota ha cercato di indagare se un programma dimostratosi prezioso negli adolescenti fosse trasferibile a un soldato alla terza missione in Iraq. Con l'avanzare del programma, i ricercatori misureranno se i soldati sopportano meglio lo stress della vita militare. «Anche se è ancora in fase di costruzione, lo valutiamo rigorosamente come se fosse già costruito», osserva Seligman.

L'uragano Katrina, come tante altre catastrofi naturali, ha messo alla prova la resilienza degli abitanti di New Orleans.

Bonanno, fra gli altri, ha sottolineato la mancanza di prove di efficacia del programma, e alla luce della storia altalenante degli interventi precedenti si domanda se esso non provochi più danni che benefici. Egli ha collaborato a uno studio che ha seguito per 11 anni un gruppo di 160.000 soldati per tutta la durata del servizio, metà dei quali erano stati impiegati almeno una volta in Iraq o in Afghanistan. Circa l'85 per cento dei reduci furono valutati resilienti, a giudicare dall'assenza di sintomi traumatici, e solo dal 4 al 6 per cento ha ricevuto una diagnosi di disturbo post-traumatico da stress. «Se la maggior parte delle persone è resiliente, come pare in tutti gli studi che abbiamo svolto, che cosa succede se sottoponiamo quegli stessi individui a un addestramento che trasmette lo stress?», si chiede Bonanno. «Diventeranno meno resilienti? È una domanda a cui, credo, sia imperativo dare una risposta».

Non tutto il mondo militare ha sposato l'addestramento universale alla resilienza. William P. Nash, un medico in precedenza incaricato di supervisionare i programmi di valutazione dello stress fra i Marines statunitensi, sostiene che siano scarse le prove di un effetto preventivo dell'addestramento alla resilienza. E propone il paragone tra soldati e giocatori di football americano. A prescindere da quanto i giocatori si allenano durante la settimana, la domenica rimarranno contusi e ammaccati. «Non potremo mai impedire che gli eventi negativi accadano», spiega Nash. «E non potremo impedire che le persone subiscano un danno da stress».

È possibile fare qualcosa per aumentare la capacità individuale di affrontare le avversità? Armare le persone preventivamente potrebbe funzionare, o magari no. Sofisticate terapie farmacologiche sono ancora lontane. Per portare un aiuto immediato dopo un disastro, la maggior parte dei ricercatori esperti – psicologi e altri professionisti sanitari del centro nazionale per lo studio del PTSD (disturbo post-traumatico da stress) – hanno sviluppato quello che potremmo chiamare un «intervento dietetico», una strategia che rinuncia a calcare troppo la mano sull'introspezione.

«Se una persona sta bene, state confermando che sta bene», spiega Patricia Watson, fra gli artefici della tecnica. Il pronto soccorso psicologico – il suo nome formale – riconosce che molte persone se la cavano bene da sole, e si concentra sugli aspetti materiali. Il cibo e un riparo hanno la precedenza, ma le vittime vengono anche a conoscenza di varie forme di aiuto, nel caso servissero.

Dopo l'11 settembre, alcuni testimoni dell'attentato pensavano che l'ansia e la depressione sarebbero comparse tre mesi dopo la calamità, e dunque ignorarono i farmaci e l'assistenza che possono aiutare gli individui che lamentano più di un sintomo passeggero. «È risultato che le persone hanno sofferto più a lungo del dovuto perché pensavano che tutto ciò fosse normale», spiega Patricia Watson, uno degli ideatori del pronto soccorso psicologico. Nel caso di vittime conclamate di disturbo post-traumatico da stress, hanno avuto un certo successo diversi psicofarmaci, come pure la terapia cognitivo-comportamentale che espone un paziente alla fonte dello stress.

La nuova scienza della resilienza dimostra che un'unica taglia non si adatta a ciascuno di noi per venire a patti con improvvisi eventi infausti. A volte il peggio succede davvero, ma la nostra innata capacità di assorbimento implica che di solito le cose evolvono per il meglio. ■

PER APPROFONDIRE

The Other Side of Sadness: What the New Sciences of Bereavement Tells Us about Life after Loss. Bonanno G., Basic Books, 2009.

Flourish: A Visionary New Understanding of Happiness and Well-being. Seligman M., Free Press, 2011.

Paul C. Sereno è paleontologo dell'Università di Chicago. Ha guidato spedizioni in tre continenti e scoperto una decina di nuove specie di dinosauri.

PALEONTOLOGIA

Trappola per dinosauri

Una spedizione nel deserto del Gobi ha portato alla luce la scena di una morte di gruppo avvenuta 90 milioni di anni fa

di Paul C. Sereno

Illustrazione di James Gurney

Un altro scheletro con il cranio in perfetto stato!», gridai alla mia squadra. Eravamo tutti sul fondo della cava, intenti a riportare alla luce altri scheletri. Nella mia carriera di paleontologo non avevo mai visto nulla del genere. Stavamo esplorando quella zona del deserto del Gobi, nella Mongolia Interna, solo da 15 giorni, ma avevamo già scoperto un cimitero di fossili intatti. Nelle settimane successive avremmo usato scalpello, piccone e bulldozer, e avremmo portato alla luce più di una dozzina di esemplari di un dinosauro simile a uno struzzo, destinato a diventare uno dei meglio conosciuti al mondo. Ma la storia sarebbe diventata ancora più interessante, andando oltre un semplice conteggio di ossa fossilizzate, sebbene intatte e ben conservate. Alla fine, questo gruppo di esemplari ci avrebbe rivelato come questi dinosauri interagivano fra loro, e le circostanze in cui ave-

IN BREVE

Una spedizione nel deserto del Gobi, nella Mongolia Interna, ha scoperto un cimitero di 90 milioni di anni fa, che contiene i resti fossilizzati di oltre una dozzina di dinosauri simili agli struzzi.

Le prove trovate nel sito di scavo portano univocamente a una conclusione insolita: i fossili dei dinosauri non si sono accumulati nel sito nel corso di millenni. I dinosauri invece hanno trovato la morte tutti insieme.

Lo studio di questa sepoltura di massa ha permesso ai ricercatori di ottenere informazioni sulla struttura della società di questi dinosauri, sulle interazioni tra i vari esemplari e sulla divisione del lavoro tra dinosauri giovani e adulti.

vano trovato una morte prematura e tremenda. Stavamo scoprendo i primi indizi di un giallo vecchio di 90 milioni di anni, e certo non potevo sapere che alla fine quel sito si sarebbe dimostrato il più ricco che io abbia mai incontrato per una singola specie di dinosauri.

Il fascino del Gobi

Noi statunitensi associamo la scoperta dei dinosauri nel deserto del Gobi alla pittoresca figura di Roy Chapman Andrews, esploratore dell'American Museum of Natural History di New York. Negli anni venti Andrews si avventurò nelle regioni desertiche della Mongolia Esterna per poi tornare con le prime uova di dinosauro mai scoperte e con il *Velociraptor* dagli artigli falciformi. Ma Andrews non è stato l'unico a esplorare il deserto in quegli anni. Più o meno nello stesso periodo lo svedese Sven Hedin aveva raccolto fossili mai visti prima nella parte meridionale del deserto del Gobi, nella Mongolia Interna, regione che oggi fa parte della Cina.

Da allora, gli scienziati che hanno scavato vicino ai siti di Hedin hanno scoperto nidi di uova con genitori e altri dinosauri con artigli ricurvi che competono con i migliori esemplari scoperti nella Mongolia Esterna. Tuttavia, i ricercatori hanno privilegiato la Mongolia Esterna. Come risultato, dopo l'apertura all'Occidente, avvenuta più di dieci anni fa, quella regione è stata visitata da numerose spedizioni internazionali a caccia di fossili, mentre la Mongolia Interna è rimasta relativamente intatta.

Al tempo della mia prima visita della Mongolia Interna nel 1984, il primo anno in cui la Cina ha permesso agli stranieri di viaggiare per il paese senza accompagnatori, ero un geologo di 27 anni. Appena arrivato a Hohhot, la capitale, ero andato al museo costruito al centro di quella che allora era una città di case con un solo piano. Fuori da Hohhot, verso ovest, c'erano centinaia di chilometri di rocce dei tempi dei dinosauri, proprio accanto alla favolosa Via della Seta che un tempo collegava le steppe mongole al cuore dell'Asia centrale. Tornato a Pechino, avevo incontrato Zhao Xijin, professore all'Istituto di paleoantropologia e paleontologia dei vertebrati, e tra i massimi cercatori di fossili cinesi, che già allora aveva scoperto oltre una dozzina di nuove specie. Avevamo discusso della possibilità di esplorare insieme quella zona, prima o poi: sono passati 16 anni.

Mezzi pesanti: senza questo bulldozer, in prestito da una vicina base dell'esercito cinese, lo scavo avrebbe richiesto mesi invece di settimane.

Mike Hettwer

Nel 2000 sono tornato a Hohhot insieme a Zhao per sistemare la logistica di un grande scavo nell'area. Scesi dal treno, eravamo stati accolti da Tan Lin, geologo e direttore dell'Istituto di paleontologia stratigrafica di Hohhot. Tan, dall'aspetto più giovane dei suoi sessant'anni, ci aveva illustrato in dettaglio quali veicoli e provviste sarebbero stati necessari per la spedizione nel deserto del Gobi nella primavera seguente. Per fortuna, non avremmo avuto difficoltà nel procurarci i mezzi di trasporto a Hohhot. La cittadina di edifici bassi che avevo conosciuto tempo prima era stata ormai sostituita da una metropoli con ampi viali e insegne al neon.

Tan aveva suggerito di tornare sui siti resi noti da Hedin e dalle spedizioni successive, dove di sicuro c'erano altri fossili da portare alla luce. Ma avevo un'altra idea. «In qualsiasi luogo, basta che non ci sia mai stato nessuno», era il mio ritornello. Alla fine, il fascino dell'ignoto aveva avuto la meglio, e avevamo deciso di partire in primavera per seguire la Via della Seta verso le remote aree occidentali del deserto del Gobi.

Primi indizi

A metà aprile 2001, tutti e 16 i cercatori di fossili statunitensi, francesi, cinesi e mongoli della nostra squadra si erano radunati a Hohhot. Distribuiti in quattro veicoli, più un camion per tonnellate di rifornimenti, eravamo partiti per una gita di 700 chilometri lungo le rive del Fiume Giallo (Huang He), e poi nel deserto. Il primo campo base lo avevamo stabilito non lontano da Suhongtu, un avamposto. Il vento soffiava forte contro le nostre tende militari cinesi dall'intelaiatura in ferro, coprendo ogni cosa all'interno con uno strato di polvere e limo finissimo. Avevamo i capelli dritti come se fossero stati fissati con il gel. Di farsi la doccia, vista la scarsità d'acqua e il gelo intenso, neanche a parlarne.

Ogni giorno partivamo in cerca di fossili, percorrendo a piedi diversi chilometri, alla ricerca di qualcosa di interessante che spuntasse dal terreno. Quando si cercano fossili, è bene essere fortunati, ma ancora meglio è poter contare su un certo «naso», un talento naturale per «sentire» la presenza dei fossili.

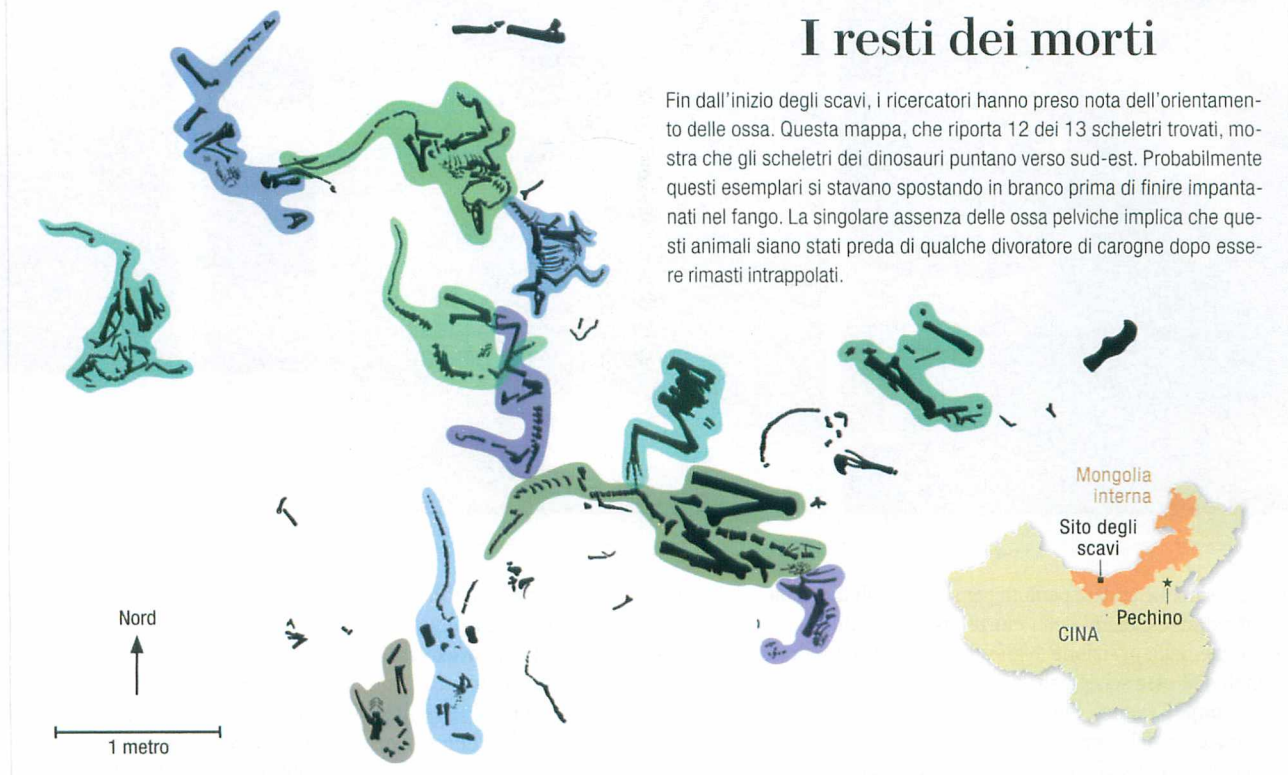
La prima scoperta importante era arrivata grazie a Dave Varricchio, paleontologo della Montana State University: un'impronta tridattila sul lato inferiore di una bassa cornice rocciosa. L'impronta, dalle dita laterali particolarmente corte, era piccola per essere quella di un dinosauro, sebbene fosse più grande della mano di Varricchio. Probabilmente doveva essere di un grosso ornitomimide, dinosauro simile agli uccelli. Ma presto non avremmo più avuto dubbi.

Secondo una mappa geologica cinese stampata 25 anni prima, l'area intorno al campo risaliva al tardo Cretaceo, circa 90 milioni di anni fa. A parte l'impronta, non avevamo trovato che ossa di qualche piccolo dinosauro già scoperto nel deserto del Gobi, e quindi ci eravamo spostati verso una grande valle vicina più ricca di fossili, dove i vari membri della squadra erano stati impegnati con parecchi esemplari, incluso uno che probabilmente era un dinosauro primitivo dal becco d'anatra che spuntava dalla superficie. Un altro fossile sembrava appartenere a un piccolo sauropode, quadrupedi erbivori che spesso raggiungono grandi dimensioni.

Il sito più interessante era una parete verticale di roccia stratificata rossa e blu, in cui erano sparse le ossa delle zampe di parecchi

I resti dei morti

Fin dall'inizio degli scavi, i ricercatori hanno preso nota dell'orientamento delle ossa. Questa mappa, che riporta 12 dei 13 scheletri trovati, mostra che gli scheletri dei dinosauri puntano verso sud-est. Probabilmente questi esemplari si stavano spostando in branco prima di finire impantanati nel fango. La singolare assenza delle ossa pelviche implica che questi animali siano stati preda di qualche divoratore di carogne dopo essere rimasti intrappolati.

Da: *Mud-trapped herd captures evidence of distinctive dinosaur sociality*, di David J. Varricchio e altri, in «Acta Palaeontologica Polonica», Vol. 53, n. 4, 2008 (*mappa distribuzione ossa*)

dinosauri relativamente piccoli. Ma non era una parete naturale, mostrava segni di scalpello e di piccone, ed era la parete posteriore di una cava di fossili. Qualcuno era stato lì prima di noi.

Tan ci spiegò che quel sito era stato scoperto nel 1978 nel corso di una ricognizione di quell'area fatta da un geologo suo compagno di studi. «Guardate qui», ci disse, indicando un piccolo simbolo a forma di osso sulla mappa geologica. Proprio grazie a quella mappa nel 1997, cioè quattro anni prima, Tan aveva guidato una spedizione di scienziati cinesi, giapponesi e mongoli verso quel sito. Trovandosi a corto di tempo e rifornimenti, avevano raccolto diversi scheletri, ma non avevano terminato lo scavo.

Nel mio zaino avevo uno studio del 1999 su un ornitomimide scoperto nel deserto del Gobi, firmato da un giovane paleontologo giapponese, Yoshitsugu Kobayashi, all'epoca dottorando alla Southern Methodist University di Dallas. A quel punto mi resi conto che lo studio era stato basato su materiale trovato proprio nella cava che avevo di fronte. Kobayashi aveva notato la presenza di molti fossili e il loro magnifico stato di conservazione; addirittura alcuni includevano piccole pietre che i sauropodi (come alligatori, foche e alcuni uccelli moderni) ingerivano per triturare il cibo e facilitare la digestione. Nel 2003 Kobayashi avrebbe dato a questo dinosauro il nome di *Sinornithomimus dongi*. Alcuni aspetti però restavano misteriosi: come mai si erano conservati tanti fossili in un'area così piccola? Erano morti insieme nello stesso momento o nell'arco di millenni? E se erano morti insieme, come era successo?

La cava era alla base di una piccola collina rocciosa in una desolata e ventosa regione del deserto del Gobi. L'orizzonte aveva preso un colore marrone grigiastro, prima avvisaglia di una tempesta di polvere in arrivo. Nel deserto, il preavviso offerto da questi segnali è questione di minuti, non di ore. Quindi ci sbrigammo a entrare nei veicoli, sperando di riuscire a tornare al campo finché potevamo ancora orientarci con le tracce lasciate all'andata. Dopo qualche minuto il vento cominciò a scagliarci addosso sabbia a palate, opacizzando la vernice delle parti più basse dei furgoni.

La polvere ci otturava i pori della pelle, e il freddo ci gelava le ossa; ma alla fine della giornata trovavamo la giusta ricompensa quando il cuoco del campo ci serviva tutti i giorni una cena di sette portate, ogni volta diverse da quelle della sera prima. Per fortuna, il campo non era lontano da un avamposto dell'esercito, e quindi avevamo accesso a verdure fresche, e la cucina cinese, per quel che mi riguarda, è la migliore del mondo. Altrettanto rinomata è la birra cinese, che per tutta la stagione ci siamo scolati a litri, brindando alla fortuna che ci assisteva donandoci grandi scoperte.

La trappola mortale

Siamo tornati in quella valle ogni giorno per diverse settimane, e molti di noi si sono dedicati a svelare il mistero della cava degli ornitomimidi. Uno scheletro ci portava a un altro, via via che i nostri attrezzi scavavano nella parete posteriore della cava, sempre più in profondità nella collina. Altri invece campionavano e studiavano la faccia anteriore della rupe, compilando un dettagliato registro delle rocce che costituivano le lapidi di quelle tombe.

Quando numerosi esemplari di una stessa specie sono conservati in uno stesso posto, il paleontologo deve chiedersi se quella distribuzione ha un'origine naturale, cioè: si tratta di un gruppo familiare o di un branco radunatosi, come ogni giorno, solo per morire lungo il cammino? Nella maggior parte dei casi gli accumuli di ossa di un'unica specie non sono interessanti. Sono composti da esemplari senza legami che, in un arco di tempo ignoto, sono morti vicino a una sorgente o sono stati trasportati da un'inondazione.

Se ci fossimo limitati a raccogliere gli scheletri, la parte più interessante della storia – cioè come quei dinosauri hanno trovato la

morte – sarebbe andata perduta per sempre. Gli indizi da cui dedurre circostanze e tempi della morte non si trovano solo nelle ossa, ma anche nella posizione degli scheletri, nei segni di denti di altri animali o di ossa scheggiate, e nel sedimento depositato prima, durante e dopo l'evento. Più che come uno scavo di resti paleontologici, una cava del genere va vista come la scena di un crimine.

Avevamo pensato subito che quegli animali dovevano essere morti insieme. Gli scheletri non erano distribuiti a caso: le ossa sembravano puntare nella stessa direzione. La causa avrebbe potuto essere un'inondazione, o un fiume che avesse trascinato nello stesso posto gruppi diversi di ossa, ma non avevamo trovato nulla che potesse provare uno spostamento simile. Gli scheletri erano tutti intatti.

In più, la roccia di sottili strati blu e rossi della parete implicava che la zona, a suo tempo, era fatta di limo e fango a grana fine. Abbiamo trovato tracce nelle spaccature riempite dal fango, che facevano pensare a un'alternanza di periodi umidi e di siccità. Alcuni scheletri erano coperti dai minuscoli gusci piatti di organismi d'acqua dolce detti concostraci, resti di un lago in espansione. Vicino agli scheletri, il fango era quasi puro, senza tane di verme e di radici tipiche di un terreno su cui siano cresciute piante. Nel complesso, la roccia che circondava gli scheletri faceva pensare a flussi e riflussi di un antico lago: un'oasi in un'area arida.

Una raccolta del genere era senza precedenti: si trattava e si tratta ancora oggi dell'unico caso in cui un evento simile a quello di Pompei ci mette a disposizione un campione di una popolazione di dinosauri. Via via che proseguivano le operazioni di scavo trascorrevamo ore e ore a riflettere sui possibili scenari della morte di quegli animali. I dinosauri erano morti a causa di un vulcano vicino, o erano vittime di un'alluvione improvvisa? A un certo punto Gabrielle Lyon, una delle ricercatrici della squadra, suggerì: «Ma non è che sono rimasti semplicemente intrappolati nel fango?». Questa idea mi sembrava azzardata. Malgrado la lunga esperienza di scavo, Lyon era un'educatrice, non una paleontologa o una geologa. A volte succede che certi animali, per esempio una vacca, muoiano vicino una sorgente: i grossi animali affondano nel fango fino alle ginocchia, e muoiono per sete, predatori e fame. Ma è estremamente raro che sia un intero branco a perire così (anche se può succedere ai cavalli selvatici, come ha osservato Varricchio, che era l'esperto di tafonomia, la scienza che studia la morte e i modi in cui avviene).

Continuando a scavare, avevamo trovato altri indizi. Dave aveva scoperto segni a forma di V sulla parete, vicino lo strato in cui erano conservati gli scheletri. Gli strati di fango erano deformati verso il basso, come se avessero subito la spinta di un piccolo oggetto, magari l'artiglio del dito di un dinosauro. Era un segno di una danza letale nel fango?

Purtroppo non avremmo potuto continuare a scavare ancora per molto. La cava di ortomimidi scendeva obliquamente sempre più in profondità dentro la collina, e l'estrazione dei fossili si faceva ogni giorno più difficile. Con gli attrezzi a disposizione, uno scavo completo avrebbe potuto richiedere mesi, se non addirittura anni. Per fortuna, però, presto avremmo scoperto che in Cina ogni cosa è possibile.

In un giorno di riposo ci eravamo spinti fino all'avamposto dell'esercito e le reclute ci avevano sfidato a pallacanestro. I professori Tan e Zhao erano rimasti a bordo campo a guardare la partita e gli impressionanti mezzi pesanti parcheggiati. Rotto il ghiaccio, la sera raccontammo del nostro problema agli ufficiali della base, con l'aiuto di qualche giro di inebriante *baijiu*, un liquore il cui nome si può tradurre, eufemisticamente, con «vino bianco», anche se in realtà è servito in piccoli bicchieri. Pochi giorni dopo, al nostro sito si presentò un bulldozer.

Il mezzo dell'esercito cinese aveva iniziato a togliere strati di pochi centimetri alla volta dalla cima della piccola collina e noi lo seguivamo alla ricerca di eventuali fossili. A un certo punto Jeff Wilson gridò di fermarsi. Wilson, paleontologo dell'Università del Michigan ad Ann Arbor, aveva individuato mascelle e denti di un predatore senza nome. Ci mettemmo tutti a cercare fra i detriti dell'ultimo passaggio, fino a trovare tutti i pezzi mancanti. Intrappolato in quella concrezione, a una distanza pari all'altezza di un corpo umano sopra il cimitero dei dinosauri, c'era il cranio, lungo 45 centimetri, di un ignoto predatore.

Al quarto giorno di lavoro, il bulldozer ormai aveva rimosso tutta la collina, e la sua lama era giusto sopra il cimitero dei dinosauri. Così, eravamo tornati a scavare a mano, fino a portare alla luce l'ultimo di 13 esemplari. In genere, gli scheletri collassano su una superficie piana per poi essere seppelliti in qualche centimetro

Mike Hettwer

Scene da uno scavo. Da sinistra: Dave Varricchio alla ricerca di piccole ossa; l'autore attacca la dura roccia del deserto del Gobi con il piccone; il gruppo di ricerca esamina i detriti lasciati dal bulldozer; il gruppo si rifugia nella tenda per sfuggire a una tempesta di sabbia; una zampa anteriore di *Sinornithomimus* trovata nella roccia.

di sedimenti, ma una volta intaccato il limo disseccato dallo strato principale con gli scheletri avevamo trovato le zampe posteriori di parecchi dinosauri piantate in profondità nel fango. Alcuni scheletri non avevano l'osso iliaco, mentre per il resto erano perfettamente conservati. Sembrava proprio che quegli esemplari fossero rimasti intrappolati nel fango, solo per soffrire dell'attenzione di un antico mangiatore di carogne.

Ed era proprio quello che ci saremmo aspettati di trovare, se un intero branco di dinosauri si fosse impantanato durante uno spostamento in uno stesso banco di fango vischioso. L'ipotesi di Lyon, nata dal senso di panico forse comunicato dalla disposizione delle ossa, stava emergendo come la più plausibile ricostruzione dello scenario.

Per la vita e per la morte

Tornati all'Università di Chicago, il mio gruppo di ricerca ha pulito gli scheletri al microscopio, rivelandone il notevole stato di conservazione. Le pietre dell'apparato digerente non solo si erano conservate, ma addirittura sembravano aver mantenuto la forma del ventriglio in cui, un tempo, erano servite a triturare materiale vegetale. Abbiamo anche scoperto una sottile pellicola carboniosa nera che rivestiva entrambe le facce del ventriglio. È tutto quello che è rimasto dell'ultimo pasto dei dinosauri.

Ulteriori prove hanno confermato le intuizioni avute durante lo scavo. Nel deserto avevamo notato che tutti gli scheletri del sito erano di esemplari giovani. Quando ci si trova sul campo, il miglior modo per misurare l'età di un dinosauro è esaminare le singole ossa che compongono la spina dorsale. Ogni vertebra è costituita da un osso a forma di bobina, in basso, da cui si proietta verso l'alto una struttura curva (l'arco neurale). Se queste due parti sono fuse, vuol dire che la spina dorsale ha terminato la crescita, e il dinosauro è adulto. Bene, in tutti gli scheletri di Suhongtu le vertebre si erano conservate in due parti distinte.

Questa caratteristica, comunque, ci dava solo una stima approssimativa dell'età dei dinosauri. A Chicago abbiamo ricavato sottili sezioni delle ossa per contarne gli anelli di crescita annuale. Così abbiamo scoperto che l'età degli scheletri era compresa tra uno e sette anni, e per la maggior parte degli esemplari andava da uno a due anni. Questa distribuzione ci ha suggerito due cose. Innanzitutto che per raggiungere la fase adulta *Sinornithomimus* aveva bisogno di circa dieci anni, e poi che il branco di Suhongtu era una banda di adolescenti che se ne andava in giro per conto suo.

Grazie a queste due informazioni abbiamo messo insieme la storia completa di questi dinosauri: non solo come sono morti, ma anche come vivevano. I paleontologi hanno dedicato varie riflessioni al possibile comportamento sociale dei dinosauri giovani, ma ancora oggi i migliori dati disponibili sull'argomento arrivano dal branco di Suhongtu. Dato che per *Sinornithomimus* la crescita richiedeva circa dieci anni, i giovani avevano ampie possibilità di riunirsi fra loro. Durante la stagione degli accoppiamenti, gli adulti erano occupati in altre attività: corteggiamento, costruzione e difesa dei nidi, cova delle uova e nutrimento dei piccoli appena nati. I giovani invece se ne andavano in giro per conto proprio.

Questo particolare gruppo è andato incontro a una fine prematura. Per un branco che si trovasse a passare da quelle parti, la trappola di fango doveva sembrare simile a tante altre zone lungo la riva del lago: fango su cui una zampa può lasciare un'impronta, ma non sprofondare ed essere inghiottita. Una coppia di scheletri al centro della scena mostra drammaticamente come è avvenuta questa tragedia, 90 milioni di anni fa. I due rettili giacciono intrappolati senza rimedio, i corpi collassati lateralmente sulla superficie fangosa, l'uno sull'altro, le zampe bloccate nel fango. I loro scheletri sono completi, a eccezione delle ossa delle anche, che devono essere state strappate via da qualche predatore. Un osso dell'anca isolato, con la parte centrale piatta sbriciolata dal peso della zampa di un intruso, conferma questa ricostruzione.

Poi il livello dell'acqua è cresciuto, almeno per un po', sigillando nel fango questa tomba collettiva e la sua tragica storia. ■

PER APPROFONDIRE

Herbivorous Diet in an Ornithomimid Dinosaur. Kobayashi Y., Lu J.C., Dong Z.M., Barsbold R., Azuma Y. e Tomida Y., in «Nature», Vol. 402, pp. 480-481, 2 dicembre 1999.

Mud-Trapped Herd Captures Evidence of Distinctive Dinosaur Sociality. Varricchio D.J., Sereno P.C., Zhao X., Tan L., Wilson J.A. e Lyon G.H., in «Acta Palaeontologica Polonica», Vol. 53, n. 4, pp. 567-578, 2008.

La spedizione in Mongolia nel 2001 alla ricerca di dinosauri: **www.projectexploration.org/mongolia.**

Non è una malattia da ricchi

Le recenti campagne sanitarie mondiali si sono concentrate su HIV, tubercolosi e malaria. Ma oltre metà dei casi di cancro è nei paesi a basso e medio reddito, spiega l'antropologo medico Paul Farmer

Intervista di Mary Carmichael

Secondo l'Organizzazione mondiale della Sanità, entro il 2020 15 milioni di persone ogni anno si ammaleranno di cancro; di questi, 9 milioni vivranno in paesi in via di sviluppo. Paul Farmer, medico e antropologo medico della Harvard University, è deciso ad assicurare che queste previsioni non diventino realtà. Farmer, è un pioniere in fatto di sanità mondiale. In qualità di cofondatore dell'associazione no-profit Patrners in Health, ha fatto arrivare cure mediche a milioni di poveri, dall'assistenza di base alle terapie antiretrovirali per l'AIDS.

Di recente, Farmer si è concentrato sul cancro nei paesi in via di sviluppo, dove la malattia è sempre più diffusa ed è spesso difficile ottenere cure costose. Lo scorso ottobre, Farmer assieme a ad altri responsabili di una task force mondiale ha annunciato su «The Lancet» un progetto ambizioso per aumentare l'accesso alle cure contro il cancro dei paesi in via di sviluppo, basato sulla raccolta di fondi (solo il 5 per cento della spesa mondiale per il cancro è destinata ai paesi a basso e medio reddito), sulla riduzione del costo dei farmaci e su nuove strategie per farli arrivare a chi ne ha bisogno.

Che cosa significa dire che il cancro è in crescita nei paesi in via di sviluppo? Questo trend fa parte di un andamento mondiale?

È difficile misurare l'incidenza del cancro, l'epidemiologia del «tumore» che troviamo in Giordania non è la stessa del Burundi perché, in primo luogo, la Giordania ha una quantità maggiore di risorse mediche. Tuttavia, ci sono alcune tendenze generali. Nel 1970 il 15 per cento delle diagnosi di cancro riguardava i paesi in via di sviluppo; nel 2008 la percentuale era salita al 56 per cento. E nei paesi a basso reddito il tasso di mortalità è maggiore quasi del 50 per cento rispetto a quelli con reddito elevato.

Non mi piace usare il termine «stile di vita», ma alcuni dei fattori di rischio per il cancro, come l'esposizione a virus e sostanze inquinanti o a sostanze tossiche, sono molto più presenti nei paesi in via di sviluppo, e questo aumenta l'incidenza della malattia. Inoltre, in numerosi paesi la speranza di vita sta crescendo. Ciò significa che se si stanno curando casi di tubercolosi farmaco-resistenti o di HIV, oggi si riesce a far sì che le persone sopravvivano a una di queste malattie, ma questo dà loro più tempo per morire di tumore.

Una delle ragioni per cui il cancro è in ascesa dipende dal fatto che le altre cause di morte sono in declino?

Sì. Uno dei punti chiave del nostro recente articolo su «Lancet» è che dobbiamo integrare le strategie di prevenzione contro il cancro e le terapie, organizzando in modo articolato l'assistenza medica. Se invece di avere programmi differenti e radicalmen-

IN BREVE

Quasi i due terzi dei 7,6 milioni di decessi per cancro nel mondo avviene nei paesi a basso e medio reddito, a cui però è destinato appena il 5 per cento delle risorse mondiali contro i tumori.

Paul Farmer, pioniere della sanità globale, con il suo gruppo no-profit Partners in Health, ha dato vita a una *task force* che vuole stimolare il sostegno per far arrivare assistenza e terapie contro il cancro nei paesi in via di sviluppo.

Partners in Health ha iniziato a sviluppare programmi rurali in Malawi, Haiti e Rwanda, che collaborano con ospedali didattici affiliati a Harvard per fornire ai pazienti una gamma completa di cure in aree povere di risorse.

Christopher Churchill

te separati li accorpassimo il più possibile, otterremmo un miglior rapporto costi-benefici. Questo vale per tutti gli interventi destinati a rafforzare i sistemi sanitari, ma nel caso del cancro la necessità di un'integrazione è particolarmente evidente, dal momento che non c'è un unico modo di affrontare la malattia.

Alcune forme di tumore si possono prevenire con i vaccini, come nel caso di certi tumori epatici e della cervice uterina, o per alcune forme di tumore della testa e del collo. Altre forme sono curabili con la chemioterapia o la radioterapia, mentre per altre ancora esistono le cure palliative. Dunque è necessario che si giunga a un coinvolgimento complessivo di tutte queste diverse aree della medicina. E c'è anche bisogno di garantire che le terapie anticancro facciano parte dei programmi nazionali di assicurazione sanitaria per gli indigenti, come accade già in paesi come Messico e Colombia.

Pensa che il cancro sia stato trascurato nei paesi in via di sviluppo? Le malattie infettive – HIV, tubercolosi e malaria – ricevono maggiori attenzioni.

Se torniamo al 2003, non c'erano programmi per diagnosticare né curare l'AIDS, ed erano pochissimi anche quelli per tubercolosi e malaria. Era stato proposto il President's Emergency Plan for AIDS Relief (PEPFAR), un'iniziativa degli Stati Uniti per i malati di AIDS, ma di fatto non è mai stato davvero avviato. E con il Global Fund per combattere AIDS, tubercolosi e malaria uno dei primi finanziamenti è andato a Haiti, e non è stato erogato che nel 2003. Dunque è storia recente, nemmeno AIDS, tubercolosi e malaria erano nel panorama deglii interventi. In generale, non c'era attenzione per i problemi dei poveri.

Perché no? E come mai le cose sono cambiate?

Secondo me gli anni novanta sono stati un decennio di aspettative terribilmente basse in termini di sanità globale. Credo si fosse iniziato a pensare che il numero di interventi di salute pubblica possibili in una certa nazione fosse correlato direttamente al PIL di quella nazione. Concretamente, questo si traduceva in frasi tipo: «Haiti è così povera che non possiamo permetterci di sprecare risorse in nulla che non sia molto economico».

Ma poi ha fatto la sua comparsa l'AIDS, che è un fenomeno transnazionale, per cui avere strategie concentrate esclusivamente su ciò che è disponibile in un paese quando la malattia va e viene è folle, giusto? Al giro di boa del millennio, AIDS, tubercolosi e malaria uccidevano 6 milioni di persone l'anno, quasi esclusivamente in luoghi in cui non c'erano abbastanza risorse. Poi, i nuovi media hanno fatto sentire a tutti che siamo parte dello stesso pianeta, così improvvisamente ci siamo ritrovati con persone che si connettevano via Skype da Haiti a Harvard. È stato allora che sono entrati in gioco la Bill & Melinda Gates Foundation, il Global Fund e il President's Emergency Plan, il maggior impegno finanziario che un paese avesse mai avviato per combattere una singola malattia; questo ha cambiato radicalmente il panorama ma, ripeto, è successo tutto negli ultimi anni.

Il cancro era un problema anche allora. Come mai non era nell'agenda sanitaria globale all'inizio del 2000?

Avrebbe dovuto esserlo. Ma credo sia stata una buona scelta focalizzarsi su qualcuno degli altri problemi sanitari e di carenza di cure. Dopo tutto, AIDS, tubercolosi e malaria erano tutti trascurati. Se dicessi «creiamo un fondo globale per combattere malattie e povertà», beh, ci abbiamo già provato e non ha funzionato tanto bene. Credo che le basi del PEPFAR, focalizzato su una sola malattia, fossero convincenti. Tuttavia, quando è diffusa la percezione che c'è carenza di risorse, si sentono frasi come «Tutta l'attenzione è focalizzata sull'AIDS e non c'è nulla per il resto». Ma questo genere di competitività intorno alle risorse non va bene. Evitiamo di ripetere lo stesso errore più e più volte. Non dovremmo pensare che in un ambiente in cui scarseggiano le risorse si possa avere abbastanza denaro per fare un buon lavoro solo su un numero ristretto di settori.

È possibile limitare la competizione fra malattie per il bene generale?

Sì, credo sia possibile, ed è quello che cerca di fare questa task force globale contro il cancro: dire «Ok, concentriamoci sul cancro», sapendo che bisogna lavorare anche sul consolidamento generale dei sistemi sanitari, sui vaccini, la chemioterapia e le cure palliative. La complessità del cancro implica che le persone devono lavorare insieme, e stiamo cercando di usare questo approccio integrativo per rafforzare l'intero sistema sanitario.

Quali interventi di sanità pubblica saranno i più efficaci nella prevenzione del cancro?

Il cancro della cervice uterina è un tumore che potremmo forse eradicare quasi del tutto grazie ai nuovi metodi di prevenzione, diagnosi precoce e terapia. Dieci anni fa non l'avrei detto.

Questo perché dieci anni fa non esisteva il vaccino Gardasil?

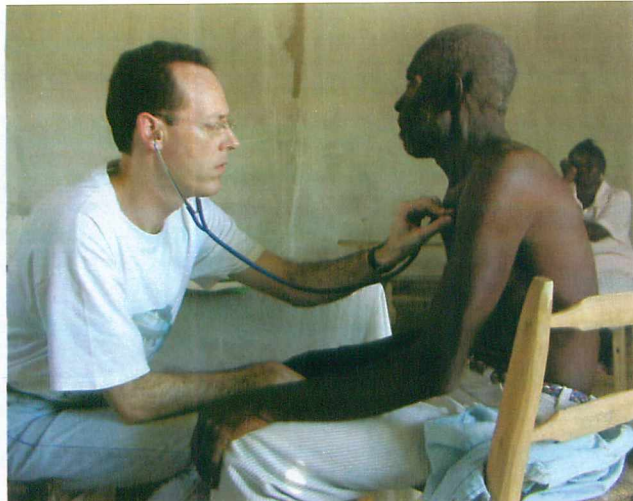
No, infatti. Naturalmente, il virus del papilloma umano (HPV) si trasmette per via sessuale, quandi possiamo immaginare quali siano le altre forme di prevenzione primaria: il cosiddetto sesso sicuro, o il fatto di ritardare l'inizio della vita sessuale attiva. Ma, essendo quello che siamo, il vaccino è la scelta migliore. Potrebbe anche accadere che le varianti virali non coperte dal vaccino diventino dominanti, non lo sappiamo. E naturalmente il vaccino non protegge contro altre malattie a trasmissione sessuale. Ma è sempre qualcosa. Cominciamo da lì. Questo è un tipo di tumore che colpisce seriamente le donne povere, e ora abbiamo qualcosa che potrà prevenire una percentuale consistente di casi.

Qual è il passo successivo?

Lo screening. Si può usare l'acido acetico per controllare la cervice, e se si individuano lesioni *in situ* le si può rimuovere con la crioterapia. Si possono cauterizzare. È una cura. Inoltre ci sono pazienti per cui sarebbe più indicato un intervento chirurgico più radicale, e infine pazienti che non possono essere curate e che avrebbero bisogno di altri tipi di terapia, come la radioterapia, per alleviare i sintomi.

Quanto sono disponibili queste terapie nei paesi in via di sviluppo?

Non molto. Anni fa avevo una paziente con metastasi alla cervice uterina, che è stata costretta ad andare nella Repubblica Dominicana per ricevere la terapia radiante perché ad Haiti non c'era. La domanda è: se le cure non sono disponibili, useremo questo dato di fatto per iniziare la discussione o per chiuderla?

Che cos'è disponibile attualmente nei luoghi in cui lavoro? Si parte dal nulla. In qualsiasi capitale africana, persino nella più povera, si finisce sempre per trovare un oncologo o un ematologo. Ma noi andiamo nelle aree rurali. Quel che succede di solito è che, mettendo insieme infrastrutture sanitarie decenti in queste aree, la

Paul Farmer ha cominciato la sua crociata nel settore della sanità globale nell'arena di Haiti, negli anni ottanta. Ora il suo obiettivo sono le cure contro il cancro.

Mark L. Rosenberg/The Task Force for Global Health

gente ci viene a cercare le cure dalle città, perché è povera. Vengono mandati da ematologi e oncologi privati che dicono: «Non ti posso aiutare, ma ho sentito che queste persone, laggiù in quelle regioni isolate, offrono diagnosi e cure per il cancro».

Quando abbiamo iniziato a lavorare in Africa sapevamo che sarebbe successo perché ci eravamo già passati a Haiti. Siamo diventati i dispensatori dell'ultima risorsa. Nel nord del Rwanda c'erano 500.000 persone senza un ospedale. Così, insieme al Ministero della Sanità abbiamo costruito un ospedale. Abbiamo anche cercato di formulare le diagnosi con l'aiuto di un ospedale didattico di Harvard, il Brigham and Women's Hospital. I loro sanitari seguono tutta la parte patologica a titolo gratuito.

Inviate campioni avanti e indietro?

Sì, così con un tumore solido facciamo una biopsia - che possiamo effettuare facilmente in uno qualunque dei siti rurali - spediamo il campione, otteniamo la diagnosi dal Brigham, poi il Dana Farber Cancer Institute ci procura la chemioterapia, che viene somministrata in Rwanda con l'aiuto di pediatri, medici di medicina generale e delle infermiere che sono in loco. Stiamo usando questo modello in Malawi, Haiti e Rwanda.

È straordinario pensare che un abitante di un'area rurale del Rwanda sia curato da uno dei migliori centri anticancro del mondo.

Credo proprio di sì. Speriamo che altre strutture che operano nel settore vedano quello che stiamo facendo e la smettano di dire «Oh, non possiamo farlo. Siamo in Africa: qui non si può curare il cancro».

Ci sono altri ospedali che potrebbero sviluppare questo genere di collaborazione?

Qualunque ospedale degli Stati Uniti ha un reparto di patologia e un programma chemioterapico. Non c'è bisogno che lo facciano tutti, ma dovrebbero farlo i centri medici universitari.

Bisogna anche formare il personale...

Una delle cose che abbiamo imparato a Haiti è che se si vuole che le persone seguano le cure bisogna lavorare con gli operatori sanitari di comunità. Ricordo che all'inizio pensavamo: «Abbiamo i medici, abbiamo le infermiere, abbiamo il laboratorio, abbiamo il microscopio», e i pazienti continuavano a morire. Così abbiamo dovuto capire qual era il problema. E abbiamo scoperto che, anche se ti puoi permettere medici e infermiere, hai comunque bisogno di operatori sanitari di comunità, che vivono nei villaggi. E naturalmente il problema era che si trattava di una malattia cronica e i pazienti dovevano rimanere sempre in terapia. Gli operatori locali potevano incoraggiarli a prendere le medicine, e aiutare nelle cure quotidiane di cui avevano bisogno.

Servono operatori di comunità anche per le cure palliative nella fase terminale, che è uno dei focus del suo lavoro col cancro. Ovviamente non c'è alcuna ragione per cui qualcuno in Africa non le debba avere, se sono disponibili. Ha incontrato resistenze a questa idea?

In un certo senso, dato che tutti gli esseri umani sono mortali, tutte le cure sono palliative. Ma quel che è interessante dal mio punto di vista di antropologo medico, è il modo in cui alcuni di questi termini vengono distorti. In un posto dove non ci sono terapie efficaci, l'espressione «cure palliative» è stata un po' abusata sulla base dell'assunto che non essendo possibile curare il cancro o l'AIDS ci si limita a somministrare cure palliative. Credo che questo sia stato un errore. Credo che si dovrebbe dire «facciamo del nostro meglio sia sul fronte terapeutico sia su quello delle cure palliative». Chi è colpito da un tumore che provoca gravi sofferenze, beh, ha bisogno di cure palliative a Haiti come a Harvard. E la gestione del dolore non è un'idea per niente costosa. È vero che è assai difficile gestire i narcotici. Bisogna essere sicuri che i farmaci funzionino senza troppi effetti collaterali, e bisogna anche essere sicuri che non vengano rubati per essere venduti dagli spacciatori.

Non è sempre vero che i farmaci siano così costosi di per sé. E, ripeto, certo che le cure contro il cancro costano, ma questo è il punto di partenza della discussione o la sua fine? Perché se è il punto di partenza bisogna chiedersi come fare ad abbassare i costi, che è uno degli obiettivi della task force.

Lei passa molto tempo a lavorare alle politiche sanitarie. Riesce ancora a visitare i pazienti?

Proprio domani, in realtà, andrò a Haiti per incontrare un paziente, un ragazzo di 25 anni. Questo paziente presentava una serie di estese lesioni che tutti pensavano - correttamente - fossero dovute alla tubercolosi. Ma è emerso che era affetto anche da un linfoma. Ho iniziato a seguirlo circa sei mesi fa, abbiamo ricevuto la diagnosi dal Brigham, e poi la chemioterapia dal Dana-Farber, e adesso ha appena lasciato l'ospedale. E, ci creda o no, il suo nome è Victory.

È guarito?

Credo di sì. È stato sottoposto a sei cicli di chemioterapia ed è stato certamente curato per la tubercolosi. Spero di vederlo domani. È tornato a casa, ma non vive troppo lontano dall'ospedale, dovrei riuscire a trovarlo senza difficoltà. E, grazie al cielo, non in un camposanto. ■

PER APPROFONDIRE

Expansion of Cancer Care and Control in Countries of Low and Middle Income: A Call to Action. Farmer P. e altri, in «The Lancet», Vol. 376, pp. 1186-1193, 2 ottobre 2010.

Cancer Control in Developing Countries: Using Health Data and Health Services Research to Measure and Improve Access, Quality and Efficiency. Hanna T.P. e Kangolle A.C.T., in «BMC International Health and Human Rights», Vol. 10, n. 24, 13 ottobre, 2010.

Esposti

Le tecniche mediche di imaging forniscono grandi dosi di radiazione

L'esposizione a fonti naturali di radiazioni ionizzanti – il tipo di radiazione più nocivo – è un fatto inevitabile. Dai raggi cosmici ad alcuni isotopi di un gas (radon-222 e radon-220), solo per citare un paio di fonti naturali, le forme di vita si sono evolute facendo i conti con la radioattività, le cui dosi variano in funzione dell'area del pianeta considerata.

Negli ultimi anni, però, una fonte di origine antropica ha preso sempre più piede, preoccupando gli esperti di radioprotezione: le tecniche diagnostiche basate su raggi X. Il ricorso sempre più frequente a queste tecniche ha fatto aumentare la dose media ricevuta dalle persone e gli esperti raccomandano che il pubblico riceva meno di un millisievert all'anno oltre la radiazione naturale di fondo. Le tomografie computerizzate (TC) sono la preoccupazione più grande. Secondo David Schauer, direttore dello statunitense National Council on Radiation Protection and Measurements, l'esposizione media per un esame con TC è 7,1 millisievert. «C'è un consenso crescente sul fatto che i produttori di apparecchiature per TC debbano ridurre gli esami a meno di un millisievert», afferma, aggiungendo che ormai le nuove tecnologie rendono possibile raggiungere questo obiettivo.

Mark Fischetti

Dose di radiazione all'intero corpo (millisievert)

Dose totale di origine naturale (millisievert per anno)

Esposizione lavoratori (millisievert per anno sopra il fondo)

Grafica di Carl DeTorres

Fonti: National Council on Radiation Protection and Measurement; Istituto superiore di sanità, Japan Atomic Industrial Forum; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Verso l'infinito, e oltre!

I Rudi vanno nello spazio a far compagnia all'astronauta Paolo Nespoli sulla Stazione spaziale internazionale per un esperimento alla velocità della luce

In questo mese di maggio attendiamo il ritorno di Paolo Nespoli, l'astronauta italiano che, a bordo della ISS, ha battuto tutti i record nazionali di permanenza nello spazio. Ognuno di noi ha sognato di fare l'astronauta (o cosmonauta, se qualcuno ancora si ricorda la differenza), e quando Rudy ha scoperto che Nespoli è un suo coetaneo, i suoi occhi scuri e severi si sono soffusi di uno strano melange tra la più spudorata invidia e la più tenera delle nostalgie. Consci del fatto che difficilmente riusciremo ad andare davvero a salutare Paolo sulla Stazione spaziale internazionale, ci prendiamo la libertà di andarci attraverso questa rubrica.

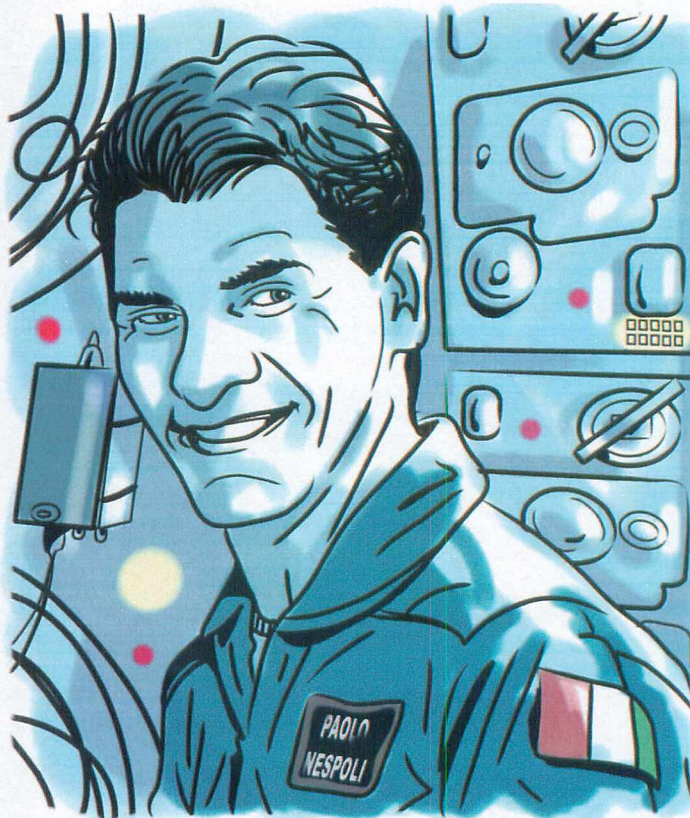
"Rudy, sei sicuro di voler governare tu le manovre dei tuoi due colleghi? Non metto in dubbio che tu sappia farlo, però riconoscerai che, quantomeno, la radio e i paraggi della ISS li conosca io meglio di te». Rudy si gode la solleticante ebbrezza della gravità zero lasciando fluttuare il suo corpo nel vuoto e giocando a lanciare e riprendere al volo, con la sola bocca, una pipa dall'aspetto ipermoderno ma assolutamente scarica. Dopo un'ultima giravolta ben riuscita, il GC afferra il bocchino coi denti, lasciandoli scoperti in un sorriso verso Paolo Nespoli.

«Ah, Paolo, come si vede che non li conosci... Già il fatto che tu li abbia chiamati "miei colleghi" palesa la tua candida innocenza nei loro confronti. No, se non li guido io, le due capsule dal costo di svariati milioni di euro finiranno presto nel bel mezzo della fascia degli asteroidi... Con loro due dentro, ma questa non sarebbe una gran perdita. E poi, insomma, rispetta l'anzianità, no? Quante volte devo ripeterti che sono di ben 24 giorni più vecchio di te? Io conoscevo i comandi della Vostok quando tu ancora giocavi con i soldatini».

Non si riesce a sopravvivere sei mesi nello spazio senza imparare la pazienza, e Nespoli mostra di conoscere benissimo l'argomento. Sorride scettico e paziente, e si àncora in piedi vicino a Rudy, lasciando saltare lo sguardo tra gli oblò della Cupola della ISS e le decine di monitor della plancia di controllo.

«D'accordo, vecchietto. Raccontami almeno che esperimento stai cercando di far fare ai due poveri tapini là fuori».

Il ghigno di Rudy assume un'aria vagamente satanica: «Beh, sai, ai parrucconi dell'Agenzia spaziale italiana e dell'Agenzia spaziale europea sono riuscito a spacciarlo per un'evoluzione ad alto rendimento del Tethered, ricordi? Ma se devo essere sincero, e ormai direi che posso esserlo, la verità è che voglio mettere in pratica un problema per il quale ho serie difficoltà nella risoluzione teorica. Vedi? Alice e Doc sono adesso ben posizionati, ognuno nella sua graziosa navicella, equidistanti dalla ISS e uniti da robusto cavo di kevlar e rame di una decina di chilometri. Al mio via, entrambi cominceranno a muoversi lungo la direzione del cavo ben teso che li unisce, uno dietro l'altra».

«Capisco, quindi è un po' come due macchine con un cavo di traino, solo che in realtà nessuno traina l'altro, visto che si muoveranno insieme».

«Esatto: e con la differenza sostanziale che due macchine non riescono ad arrivare a velocità prossime a quella della luce, come faranno invece le nostre due cavie».

«Velocità della luce? Rudy, te lo ricordi che siamo solo nel XXI secolo?».

«E tu te lo ricordi che siamo dentro una rubrica di giochi matematici? Velocità della luce, fidati. Sennò che gusto c'è?».

L'immagine di Paolo Nespoli fluttua un istante nel limbo che separa narrazione e realtà, poi torna stabile.

«Va bene, ritiro l'obiezione. Ma il problema qual è?».

«Il problema è che non riesco a visualizzare bene le conseguenze, le implicazioni teoriche di questo sistema dinamico. Guarda, adesso

Illustrazione di Stefano Fabbri

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di giugno e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

IL PROBLEMA DI APRILE

Il problema del mese scorso riguardava una serie di dieci scommesse «guidate» che Alice faceva contro Rudy, grazie all'aiuto di Doc che sapeva sempre il risultato giusto su cui scommettere, ma che una sola volta le avrebbe dato il suggerimento sbagliato.

Come prima ovvia constatazione, registriamo il fatto che Alice si accorgerà (perché perde la scommessa) quando Doc mente; come seconda e meno ovvia considerazione, invece, si nota che l'idea strategica vincente è quella di cercare di avere sempre il medesimo guadagno dalla serie di dieci scommesse, a prescindere dal punto in cui Doc dà il suggerimento sbagliato. Ne segue che, detto X_k il capitale in possesso di Alice a k giocate dalla fine, e detta A_k la puntata da fare in quello stesso turno, Alice, sin quando Doc non mente, deve puntare:

$$A_k = \frac{k-1}{k+1} X_k$$

Ossia Alice punterà le seguenti quote di capitale:

$$\frac{9}{11}, \frac{8}{10}, \frac{7}{9}, \frac{6}{8}, \ldots, \frac{1}{3}, 0$$

Ovviamente, dal momento in cui la bugia è consumata in avanti, punterà invece sempre l'intero capitale: lo zero finale significa che se per le prime 9 puntate Doc non ha ancora mentito, alla decima bisogna puntare zero perché mentirà. Naturalmente, se vi interessa saperne di più, potete scommettere che ci troverete sul blog...

siamo tutti solidali e relativamente fermi, in questo sistema di riferimento che chiamiamo SR della ISS. Quando i due tapini partiranno, li vedremo muoversi rispetto a noi, con le relativistiche conseguenze del caso. D'altra parte, Doc dal suo personale sistema di riferimento vedrà Treccia compiere le sue stesse azioni, e altrettanto capiterà a Treccia osservando il SR di Doc. E, con buona pace delle lezioni di Einstein, non riesco ancora a capire se il cavo che li unisce si romperà o meno: è certo in grado di resistere a qualche buona sollecitazione, ma se entrano in ballo le contrazioni e dilatazioni relativistiche... Così mi sono detto: che c'è di meglio che provare?».

Paolo guarda Rudy con la stessa espressione con cui un vegetariano guarda un macellaio iperteso e obeso: «Stai scherzando? Quei due stanno per partire e raggiungere una velocità prossima a c solo per toglierti questa curiosità? Come hai fatto a convincerli?».

«Come vuoi che abbia fatto? Mentendo, naturalmente. Loro sono come quelli dell'Agenzia spaziale europea, non sanno neppure che stanno per schizzare fuori dal sistema solare. Credono di fare un giretto di giostra, e che le loro navicelle non si allontaneranno più di qualche chilometro dalla ISS. Ma noi, invece, grazie a un sensore che ho messo sul cavo, sapremo presto se il cavo si rompe o meno, e quando. Senza contare... Ma che diavolo stai facendo?».

«Houston! Baikonur? Kourou! Mi sentite? Presto, venite a prendermi! Subito, subito, vi prego! Ma quale record, che volete che mi importi, sto qui con un paz... Insomma, venite! SUBITO!».

La millenaria attrazione del vuoto

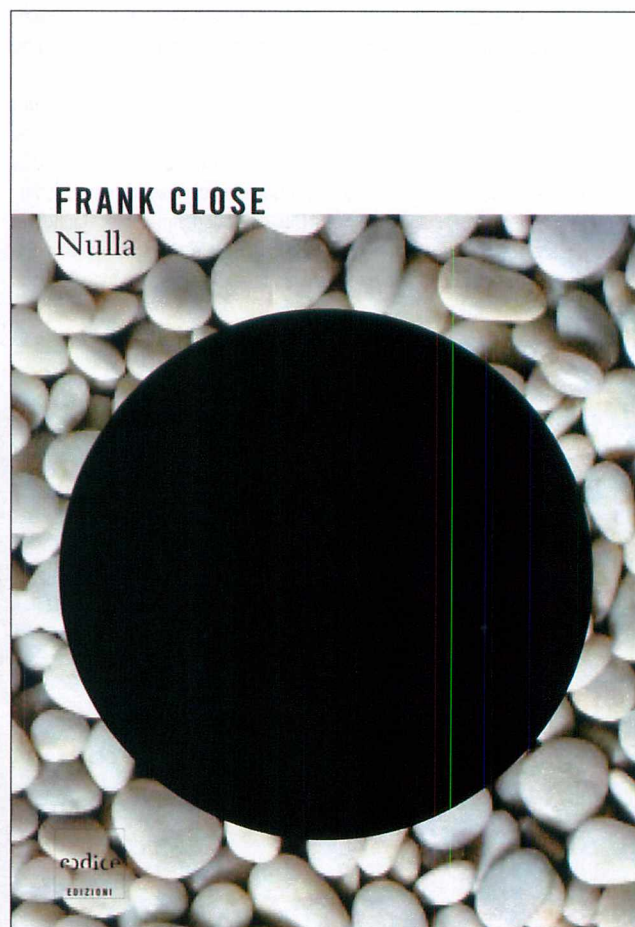
Nulla
di Frank Close
Codice Edizioni, Torino, 2011, pp. 126 (euro 19,00)

Si dice, e chiunque di noi può verificarlo, che nella mente umana non si strutturi una memoria a lungo termine prima dei 3-4 anni, a meno di non aver sperimentato singoli eventi traumatici o particolarmente significativi. Andando a ritroso e giungendo a questa soglia i ricordi sembrano perdersi a poco a poco nel nulla. Volgendo lo sguardo in avanti, al termine dell'esistenza umana, l'inquietudine che deriva dallo smarrimento della coscienza è ancora più drammatica, e lo stesso vale se si considera l'umanità intera e, al limite, tutta la realtà che abbiamo davanti: la percezione di come tutto l'essere sia in bilico sul nulla è stata la principale fonte della religiosità e della riflessione filosofica in molte culture.

La questione pare non meno impellente dal punto di vista prettamente fisico: esiste il vuoto, il nulla fisico? Per chiarirla sono occorsi, a conti fatti, 2500 anni: dai pensatori greci, che formularono il problema e ne diedero soluzioni diverse, passando per Galileo, che lo definì in termini sperimentali, fino alle attuali teorie della fisica delle particelle, come racconta in questo originale saggio Frank Close, seguendo il concetto del nulla come un filo rosso che percorre la storia della scienza fin dai suoi albori.

Il primo passo significativo – distinguere l'aria dal vuoto – fu fatto da Empedocle, che riuscì a dimostrare come l'aria sia a tutti gli effetti una sostanza che occupa uno spazio ben definito. Eppure il problema del vuoto non sembra risolto ma solo spostato altrove, al punto che il pensatore elabora il concetto di etere, una sostanza più leggera dell'aria in grado di occupare tutti gli interstizi tra porzioni di materia.

Il nulla dunque non esiste? Per Aristotele la questione è presto risolta, con una delle formule più fortunate nella storia del pensiero occidentale, quella dell'*horror vacui*: la natura rifugge così potentemente e ostinatamente il vuoto che la materia riempie lo spazio ogni volta che un evento sembra dover creare il nulla. Bisogna attendere Galileo e il metodo sperimentale per capire che l'aria ha anche un peso, stimato in un quattrocentesimo di quello dell'acqua. La pietra miliare sulla strada per arrivare alla soluzione arriva però dall'allievo Torricelli, che con il suo tubo di vetro riempito di mercurio dimostra che il vuoto non solo esiste, ma si può anche creare in modo agevole.

Nel XVII secolo il vuoto comincia a essere un concetto familiare, al punto che vengono organizzate dimostrazioni pubbliche delle sue proprietà. La pressione atmosferica è un chilogrammo per centimetro quadrato, ovvero dieci tonnellate per metro quadrato. Lo spettacolo viene allestito nel 1654 da Otto von Guericke, borgomastro di Magdeburgo e uno dei primi divulgatori scientifici della storia, con due semisfere cave di un metro di diametro, fatte combaciare e collegate a una pompa a vuoto. Due tiri di otto cavalli ciascuno non riuscirono a separarli, con grande sorpresa del pubblico presente. Ancora un secolo e Blaise Pascal osserva che la colonna di mercurio è alta 76 centimetri solo al livello del mare, mentre scende se la si misura in quota: è la dimostrazione che l'*horror vacui* non ha motivo di essere evocato perché tutto dipende dalla pressione dell'aria.

Per la scienza moderna il nulla è una realtà familiare: i vuoti prevalgono sui pieni. Lo esprime bene Philipp Lenard nei primi decenni del Novecento: «Se, partendo dal centro dell'atomo, arrivassimo fino alla fine del protone, saremmo solo a un decimillesimo del nostro viaggio verso l'elettrone». Ma il vuoto è veramente vuoto? Ancora all'inizio del Novecento, quasi chiunque è pronto a scommettere sull'esistenza dell'etere, il «mezzo luminifero» che consente la propagazione delle onde elettromagnetiche, almeno fino a quando Einstein non rende questa ipotesi del tutto superflua con la relatività speciale. Sgombrato il campo da un concetto ormai superato, ecco che rispunta il vecchio *horror vacui* con Dirac, che apre la strada alla concezione di un vuoto come un mare in perpetuo bollore di particelle e di fluttuazioni quantistiche; e la faccenda non fa che complicarsi con la fisica degli acceleratori di particelle o con la cosmologia del big bang.

Venticinque secoli di riflessione filosofica e scientifica e la domanda è ancora la stessa: il nulla è veramente nulla?

Folco Claudi

Quei passatempi da frate basati su logica e algebra

I giochi matematici di Fra' Luca Pacioli
di Dario Bressanini e Silvia Toniato
Edizioni Dedalo, Bari, 2011
pp. 240 (euro 15,00)

Che la matematica possa essere anche divertente, oltre che utile e bella, è cosa ormai risaputa: soprattutto grazie all'opera di Martin Gardner, che proprio dalle colonne di questa rivista ha iniziato milioni di lettori ai piaceri della matematica ricreativa. Che i giochi matematici fossero in auge già prima della scoperta dell'America invece è cosa poco nota.
Luca Pacioli, matematico e artista, è autore del *De Divina Proportione* che ancora oggi è opera fondamentale per chi voglia accostarsi all'aspetto matematico delle arti grafiche. Pioniere del rinascimentale risveglio delle scienze, Pacioli scrisse anche altri testi più esplicitamente matematici, quali *Summa de Arithmetica*. Ma, al pari del suo coevo Leon Battista Alberti che dedicò il suo tempo alla stesura dei *Ludi Mathematici*, anch'egli si dilettò nel proporre veri e propri giochi, problemi algebrici e logici, che sono riportati nel *Codice Vaticano Latino 3129*.
Silvia Toniato, filologa, si imbatte in questa opera ancora quasi sconosciuta durante la sua tesi di laurea, e ne è incuriosita. Grazie a Internet, scopre che anche Dario Bressanini, pur essendo soprattutto un chimico quantistico con la passione per gli aspetti scientifici della cucina – come ben sanno i frequentatori di queste pagine – ha da sempre un malcelato debole per i giochi matematici, specialmente quelli che risalgono al Rinascimento. Il risultato dell'incontro è un libro prezioso: riesce a coniugare infatti il rigore dell'attenta ricostruzione storica e filologica con l'entusiasmo giocoso di chi affronta un problema per il puro gusto di affrontarlo e risolverlo. Soddisfare sia l'appassionato di storia sia l'amante della matematica ricreativa è impresa difficile: ma, in questo caso, perfettamente riuscita.

Piero Fabbri

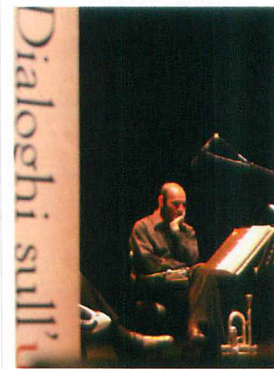
Inchiesta sul mondo delle multinazionali farmaceutiche

La casta dei farmaci
di Francesco Maggi e Adelisa Maio
Newton Compton, Roma, 2011
pp. 336 (euro 12,90)

Il mercato farmaceutico è vivo e vegeto, nonostante la crisi economica e il club ristretto e prestigioso delle multinazionali del farmaco gode di buona salute, anche se questo perdurante benessere è stato ottenuto negli ultimi anni con tagli alla rete degli informatori scientifici e agli investimenti in ricerca e sviluppo. Risulta invece in aumento il denaro destinato al marketing e alla promozione, ed è nuovamente segnalata in crescita, secondo rilevazioni internazionali, la spesa per congressi, convegni ed eventi, nel corso dei quali si rinsalda lo stretto legame tra medici, società scientifiche e grandi industrie farmaceutiche.
È dal 2004, anno di pubblicazione di un saggio di Marco Bobbio sul predominio del marketing farmaceutico e il conflitto di interessi tra medici e industria, che mancava un'inchiesta puntuale e informata come questo libro scritto da due giornalisti di Adnkronos Salute, Francesco Maggi e Adelisa Maio. Dal quale risultano evidenti le anomalie dell'Italia, che, rappresentando il terzo mercato farmaceutico d'Europa e il quinto del mondo (ma molto indietro nella classifica della spesa per la ricerca), e pressoché privo di adeguati sistemi di controllo, è un obiettivo ideale per i bulimici appetiti delle multinazionali del farmaco.
L'appassionante saggio di Maggi e Maio evidenzia da un lato il consumo compulsivo di farmaci degli italiani, collezionisti di medicine, e dall'altro svela molti retroscena: da quelli sulla pandemia influenzale «fantasma» da H1N1 al caso dell'Agenzia italiana del farmaco, a cui è stato affidato l'improbo compito di contrastare la preponderante potenza economica e persuasiva dei colossi farmaceutici.

Edoardo Altomare

A Pistoia, riflessioni sul nostro corpo

In un mondo sempre più globalizzato, dove il contatto tra culture ha ormai una frequenza impensabile solo una ventina di anni fa, e in cui scienza e tecnica influenzano in modo decisivo lo sviluppo della nostra specie c'è bisogno di uno sguardo antropologico sulla realtà. Probabilmente è questo uno dei motivi del successo della prima

edizione di *Dialoghi sull'uomo*, festival di antropologia e sociologia tenutosi a Pistoia lo scorso anno e che torna quest'anno dal 27 al 29 maggio sempre nella città toscana.
Le tre giornate pistoiesi includono incontri, spettacoli, dialoghi e conversazioni nello scenario del centro cittadino, in cui sono coinvolti antropologi, scienziati, sociologi, filosofi italiani e stranieri che offrono nuovi sguardi e riflessioni sul tema di questa edizione del festival: *Il corpo che siamo*. Le domande a cui si cercherà di rispondere sono: perché l'uomo interviene da sempre sul suo corpo? E perché oggi più che mai questo intervento è al centro di un dibattito sociale e culturale, etico ed estetico? Tra gli ospiti Telmo Pievani, Marc Augé, Marco Aime, Gustavo Pietropolli Charmet. Per prenotazioni, biglietti e informazioni: www.dialoghisulluomo.it. *(gs)*

Cortesia Delos (*Festival Pistoia*)

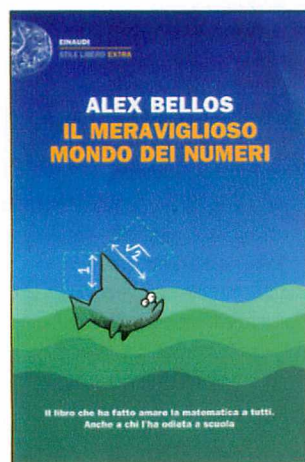
Complessità e modelli
di Cristoforo Sergio Bertuglia
e Franco Vaio
Bollati Boringhieri, Torino, 2011
pp. 702 (euro 40,00)

Evoluzione e attualità dei sistemi complessi

A tutti è capitato prima o poi di soffermarsi a guardare incantati il flusso turbolento di un torrente. Magari non tutti saranno presi dallo stesso stupore osservando gli operatori finanziari nella loro frenetica attività. Ma a indossare gli occhiali giusti si guadagna una visione più profonda della realtà, e due fenomeni così diversi risultano avere molto in comune. Sono entrambi sistemi complessi, intrattabili con un'analisi di tipo riduzionista. Per secoli, spezzettare in parti un fenomeno da studiare, trattarle separatamente e poi rimontare il tutto ha garantito una potenza esplicativa formidabile, che ha sancito il successo della scienza moderna. Nel corso del Novecento però, nei campi più diversi della scienza, dalla biologia alla fisica, dall'informatica alla psicologia all'economia, si è aperta una nuova via di analisi dei fenomeni.

Ci sono sistemi in cui le parti non sono isolabili dall'insieme senza che questo cessi di funzionare, o nei quali i rapporti tra le parti non sono descrivibili con equazioni di facile risoluzione. Non si tratta di una rivoluzione scientifica come la intende Thomas Kuhn, precisano l'urbanista Cristoforo Sergio Bertuglia e il fisico Franco Vaio (già autori a quattro mani del volume *Non linearità, caos, complessità*, sempre per Bollati Boringhieri), ma di un nuovo quadro interpretativo della realtà. Un percorso del pensiero scientifico che ha la sua origine tra fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento, quando affiora il concetto di caos in fisica con Jacques Hadamard e in matematica con Henri Poincaré e George Birkhoff, e che fiorisce poi tra gli anni sessanta e settanta, grazie anche al contributo di potenti calcolatori. La complessità pervade a questo punto molti campi del sapere: l'autorganizzazione in biologia ed economia, la teoria dei sistemi, la cibernetica, la geometria frattale, la teoria delle catastrofi. Fin qui l'evoluzione delle scienze della complessità.

Ma il libro di Bertuglia e Vaio racconta anche gli strumenti che hanno permesso negli ultimi decenni di elaborare dei modelli efficaci per i sistemi complessi. Le reti neurali che fin dagli anni cinquanta sono state ideate per simulare i processi mentali e hanno aiutato la nascita dell'intelligenza artificiale. Gli automi cellulari, con la loro capacità di farci comprendere le proprietà emergenti della realtà che ci circonda, dall'evoluzione dei sistemi naturali alle dinamiche che muovono le strutture sociali. E infine i sistemi multiagente, nati dall'intreccio tra teoria dei giochi, biologia, e intelligenza artificiale. La sfida, più che mai aperta, è identificare, se esiste, il denominatore comune ai fenomeni complessi.

Marco Motta

Il meraviglioso mondo dei numeri
di Alex Bellos
Einaudi, Torino, 2011
pp. 580 (euro 20,00).

Un viaggio nello spettacolare pianeta della matematica

«La matematica è meravigliosa» è il ritornello degli ultimi anni, per quanto riguarda i libri di divulgazione della disciplina. Dal titolo dunque, il libro di Alex Bellos sembrerebbe inserirsi in questo filone. E basta iniziare a leggere per rendersi subito conto che l'autore non solo afferma, ma dimostra con i fatti, quanto il mondo matematico sia meraviglioso per davvero: per più di 500 pagine il lettore è trascinato da una meraviglia all'altra senza un attimo di noia.

Lo stile agile e colloquiale di Bellos, giornalista del quotidiano inglese «Guardian» e laureato in matematica e filosofia, è una delle tante carte vincenti che rendono il testo piacevolissimo. Ma insieme alla bravura comunicativa bisogna riconoscere l'originalità della scelta di alcuni argomenti di nicchia e, allo stesso tempo, dell'approccio a quelle tematiche ormai inflazionate, come le proprietà dei numeri primi o le geometrie non euclidee (trattate grazie alla tecnica dell'uncinetto!). Chi è totalmente digiuno di matematica si sorprenderà ad avere sempre più fame e chi invece conosce quasi a memoria l'argomento, perché magari lo insegna o lo pratica o ne scrive, dovrà ammettere lo sguardo personalissimo dell'autore.

L'idea di partenza è fornire rapporti, come suggerisce il sottotitolo originale in inglese *Dispatches from the wonderful world of Mathematics*: Bellos descrive il Giappone dell'abaco *soroban* raccontandoci il suo incontro con Yuji Miyamoto nella sua scuola di Tokyo oppure parla della sezione aurea mentre prende il tè in giardino a Londra con Eddy Levin, dentista in pensione e inventore di uno strumento per misurare il rapporto aureo. Dall'India della matematica vedica alla Germania del più veloce calcolatore mentale vivente, passando per la tribù amazzonica dei Munduruku che non ha parole per numeri oltre il cinque, il viaggio include tutto il pianeta presente ma anche passato, con la convinzione che «la matematica è la storia della matematica» perché «la matematica non invecchia». Bellos, per esempio, si inoltra nella Francia del XVII secolo, quando al momento di stampare *La Géometrie*, Cartesio fu interpellato dal suo tipografo, che gli chiese se «l'uso di *X*, *Y* o *Z* facesse differenza», in modo da portare il lettore alle origini del simbolo *X* della quantità incognita.

Le voci di neuroscienziati che si occupano di cognizione dei numeri, di architetti che progettano in base 12, di informatici che usano i biglietti da visita per *origami*, come quelle di Pitagora o Gauss si accordano tutte, con in sottofondo Louis Armstrong

Francesca E. Magni

Foligno tra virtù e conoscenza

La città umbra ospita un festival per discutere della scienza come motore di importanti cambiamenti economici e sociali

La ricerca scientifica e la tecnica si propongono sempre più come centro e motore dei rapidi cambiamenti che caratterizzano il panorama socio-economico. Questi cambiamenti non interessano però solo la superficie degli stili di vita ma sembrano coinvolgere anche gli stili di pensiero, sfidandoci a un ripensamento di prospettive culturali ed etiche che fino a pochi decenni or sono sembravano consolidate.

Un'occasione per riflettere su questi rivolgimenti sarà la Festa di Scienza e Filosofia - Virtute e Canoscenza, che si terrà dal 20 al 22 maggio presso il Laboratorio di scienze sperimentali di Foligno. Nel corso di una tre giorni di conferenze e dibattiti – che, coordinata da Edoardo Boncinelli, Giulio Giorello e Roberto Battiston, vedrà la presenza di una ventina di relatori – affronterà alcune delle più attuali questioni che agitano la cultura e la società, a partire da quelle poste dall'energia, il cui fabbisogno in continua crescita pone interrogativi sulla scelta di quali fonti privilegiare e sulle responsabilità dell'uomo nei confronti dell'ambiente. Ma – come discuteranno da diverse prospettive Giorgio de Rita e Umberto Galimberti – anche da quelle poste dalla rivoluzione digitale, che sembrano disegnare un nuovo ambiente antropologico, in bilico fra i timori per una possibile, occhiuta pervasività delle nuove tecnologie e le opportunità offerte da una ricerca che proprio grazie a esse tende a perdere i connotati meramente nazionali per creare soggetti colletti diffusi in tutto il pianeta.

Opportunità e limiti di questo processo di globalizzazione della conoscenza ma anche delle conoscenze, attraverso i *social network*, sarà invece il tema trattato da Fausto Colombo, mentre Roberto Cordeschi, partendo della cibernetica, metterà in luce le peculiarità dell'intelligenza artificiale. Al centro del discorso di Giorgio Vallortigara sarà invece l'intelligenza animale e i suoi rapporti con il linguaggio, probabilmente il più sofisticato dei prodotti del cervello, una delle cui strutture fondamentali, la rete costituita dai neuroni specchio, sembra, come verrà illustrato da Corrado Sinigaglia, all'origine della nostra capacità di costruire una teoria della mente altrui e di sviluppare una completa socialità. Ai rapporti fra biologia e fisica, e fra materia e psiche, saranno invece rispettivamente dedicati gli interventi di Telmo Pievani e di Silvano Tagliagambe.

Gianbruno Guerrerio

Dove & quando:

FESTA DI SCIENZA E FILOSOFIA
dal 20 al 22 maggio
Laboratorio di scienze sperimentali,
via Isolabella,
Foligno (PG)
Tel: 0742 342598
Fax: 0742 699133
http://www.labscienze.org/

Tra passato e futuro. Qui accanto, piazza Duomo a Foligno. Uno dei temi affrontati nel festival della città umbra è l'intelligenza artificiale.

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

Il profeta dei terremoti

Che cosa c'è dietro le bizzarre «previsioni sismiche» di Raffaele Bendandi

Il prossimo 11 maggio Roma sarà colpita da un terremoto devastante. Almeno, stando al tam-tam di Internet, così avrebbe previsto Raffaele Bendandi. Non un sismologo all'avanguardia dotato dei più sofisticati strumenti moderni, ma un autodidatta di Faenza morto più di trent'anni fa, che sin dagli anni venti aveva acquisito grandissima fama, in Italia e all'estero, per la sua apparente capacità di prevedere i terremoti.

Bendandi usava un metodo rimasto segreto ma legato, per dirla con le sue parole, all'idea che gli eventi sismici siano «scricchiolii dell'impalcatura terrestre determinati dal variare della tensione gravitazionale esercitata dalle altre masse sul nostro pianeta».

La teoria sismologica bendandiana potrebbe avere un fondamento di realtà, dato che le forze di marea prodotte dall'attrazione gravitazionale del Sole e della Luna creano lievi spostamenti della crosta terrestre che potrebbero essere correlati ai terremoti; ma Bendandi includeva fra le sue «altre masse» anche quelle di Venere e Giove, la cui influenza gravitazionale è invece trascurabile rispetto alle altre forze in gioco, e lo faceva soltanto per particolari allineamenti di questi corpi celesti, e secondo un metodo mai rivelato. Per far quadrare i conti, inoltre, ipotizzò non uno ma ben quattro pianeti situati oltre l'orbita di Nettuno ma mai confermati dagli astronomi. Un approccio, insomma, più affine all'astrologia che alla scienza.

Inoltre, a prescindere dai suoi ipotetici meccanismi d'azione, la presunta correlazione fra le previsioni del metodo Bendandi e le scosse telluriche andrebbe comunque dimostrata statisticamente, confrontando la raccolta di decenni di previsioni effettivamente dichiarate da Bendandi (non solo quelle azzeccate) con i terremoti significativi avvenuti nello stesso periodo e valutando anche la precisione delle intensità, dei tempi e dei luoghi indicati per capire se è superiore a quella che si otterrebbe per puro caso.

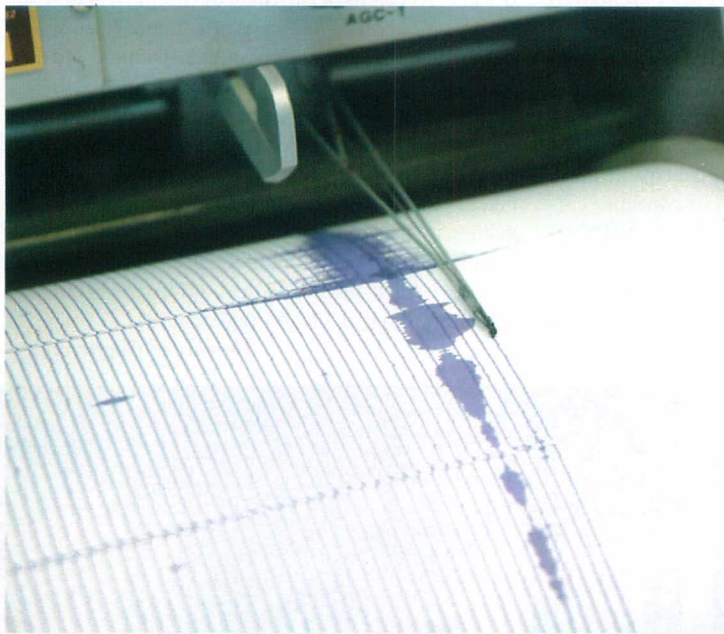
Quando si ha a che fare con i profeti d'ogni genere, infatti, occorre considerare il rischio che si tratti di selezione a posteriori dei successi: un po' come quando si va dalla cartomante e si ricordano, esagerandole, solo le cose che ha indovinato ma non quelle che ha sbagliato.

Si dice per esempio che Bendandi previde il catastrofico terremoto nella Marsica del 1915, ma in realtà fu solo dopo il sisma che si accorse di aver lasciato un appunto in proposito. Una delle sue profezie più note, quella che depositò a novembre del 1923 presso un notaio di Faenza e che gli valse la fama, annunciava un sisma per il 2 gennaio dell'anno successivo «con probabile epicentro nella Penisola Balcanica, o tutt'al più nell'Egeo», ma il terremoto colpì invece le Marche e avvenne due giorni dopo.

Spesso si attribuisce a Bendandi la previsione del terribile sisma che colpì il Friuli nel 1976, ma in realtà le sue dichiarazioni dell'epoca furono molto vaghe e si limitarono a dire che era atteso «un evento sismico di qualche genere». Imprecisioni che Bendandi stesso ammetteva, e che mal si adattano a una profezia così mirata come quella romana dell'11 maggio prossimo.

C'è di più. Stando alle ricerche di Paola Lagorio, direttrice dell'Osservatorio Bendandi, negli scritti dello studioso faentino non esiste alcuna previsione per l'11 maggio 2011, con o senza riferimento a Roma. La profezia, in altre parole, è già in partenza una bufala di origini ignote.

Ciò non significa che si possa garantire che quel giorno non ci sarà nessun sisma a Roma: sarebbe una profezia, al contrario, altrettanto inconsistente. Più semplicemente, la possibilità di terremoto in quella data è simile a quella di tutti gli altri giorni.

Questo dovrebbe stimolare una riflessione sulla sostanziale inutilità di affidarsi alle profezie o alle previsioni sismiche riguardanti date specifiche invece di ricorrere alla prevenzione, che vale per qualunque data.

Doppia bufala. Nelle carte dell'autodidatta faentino non esiste alcuna previsione relativa all'11 maggio 2011, con o senza riferimento a Roma.

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore e aspirante cuoco interessato all'esplorazione scientifica del cibo. Autore di *Pane e Bugie* e *OGM tra leggende e realtà*

L'aria nel pan di Spagna

Il segreto per un ottimo pan di Spagna è la quantità di aria intrappolata nell'impasto

Ci sono migliaia di dolci che si differenziano sia per gli ingredienti che per il procedimento con cui vengono miscelati. È possibile, partendo dalle stesse materie prime, ottenere prodotti completamente diversi a seconda dell'ordine con cui sono lavorate. Nelle torte ricche di burro, per esempio, si può montare il burro con lo zucchero e poi aggiungere le uova oppure viceversa, ottenendo due prodotti diversi. Ecco perché le torte si classificano, oltre che in base agli ingredienti, anche in base al tipo di agente lievitante usato e al procedimento eseguito per ottenere l'impasto.

Nella famiglia delle torte occupa una posizione importante la torta che parte da una base di uova, zucchero e farina. Nella pasticceria italiana, il capostipite di queste torte è il cosiddetto «pan di Spagna», che può essere poi usato – farcito, imbibito o ricoperto – per preparare moltissime altre torte. Tuttavia, l'ingrediente fondamentale per la riuscita di un buon pan di Spagna non è tra quelli elencati prima: è l'aria, che deve essere incorporata a sufficienza nella pastella per permettere una buona lievitazione.

Il pan di Spagna infatti non ha alcun bisogno di lievito chimico per aumentare di volume durante la cottura ma sfrutta il fatto che le bollicine di aria incorporata nella preparazione aumentano di volume se riscaldate. Anche il vapore d'acqua sprigionato durante la cottura contribuisce alla crescita di volume. Queste torte vengono solitamente cotte in un forno a temperature molto alte: tra 180 e 200 gradi Celsius in modo che i gas si espandono velocemente sino a quando le temperature elevate coagulano le proteine dell'uovo rendendo stabile il prodotto, che a questo punto non collassa più.

Il segreto di un pan di Spagna riuscito, dunque, è la quantità d'aria che si riesce a intrappolare nell'impasto. L'uovo montato ha il compito di inglobare la quantità più elevata possibile di bollicine d'aria. Ci sono vari procedimenti, e il più semplice ed efficace è quello che prevede di sciogliere lo zucchero nelle uova intere mescolando e scaldando leggermente sino a 40 gradi. Il calore ha il doppio scopo di velocizzare la dissoluzione dello zucchero, che deve essere completamente disciolto prima di aggiungere la farina, e di migliorare le capacità emulsionanti dell'uovo aumentando la quantità di aria inglobata. A questo punto si inizia a montare, lontano dal fuoco, con una frusta elettrica o, ancora meglio, con una planetaria. Non abbiate fretta, perché ci vogliono anche 15 minuti o più per far sì che la miscela uovo e zucchero triplichi il volume. Una variante più laboriosa ma che porta a un prodotto un poco più aerato prevede la separazione di tuorlo e albume, che vengono montati separatamente con lo zucchero e riuniti insieme prima dell'aggiunta della farina.

Molte altre torte classiche usano questi procedimenti, eventualmente con piccole aggiunte di grassi quali il burro: la torta margherita, per esempio, o la pasta genovese.

Per favorire la sofficità della torta, la farina deve avere un basso contenuto proteico, con poco glutine, altrimenti la formazione del reticolo glutinico renderebbe rigida la torta. Perciò è meglio usare la farina denominata «per torte». In alcune ricette per indebolire ulteriormente la formazione del glutine si aggiunge una parte di amido. Prima di aggiungere la farina alle uova montate è opportuno setacciarla, con il duplice scopo di eliminare i grumi, che potrebbero rimanere nell'impasto senza idratarsi, e di inglobare aria che contribuirà alla successiva lievitazione. Per un'aerazione migliore potete setacciare la farina una seconda volta mentre la aggiungete, poco alla volta, alla pastella. Una volta pronta è opportuno infornare la torta immediatamente, per evitare che le bollicine d'aria che avete così faticosamente intrappolato nell'impasto abbiano il tempo di sfuggire.

Senza lievito. Durante la cottura, il volume del pan di Spagna aumenta grazie all'aumento del volume di piccole bolle d'aria intrappolate, senza necessità di lievito chimico.

Owen Price/iStockphoto

Il dibattito sull'inflazione

di Paul J. Steinhardt

La teoria dell'inflazione cosmica, secondo cui la geometria e l'uniformità dell'universo che osserviamo oggi sono state generate durante una fase di rapida e intensa crescita primordiale, è uno dei pilastri della cosmologia attuale. Tuttavia, alcuni cominciano a dubitare della sua validità. Il dibattito riguarda in particolare i fondamenti logici dell'inflazione: si tratta di incongruenze risolvibili o di una crisi più profonda e definitiva?

Cento anni di superconduttività

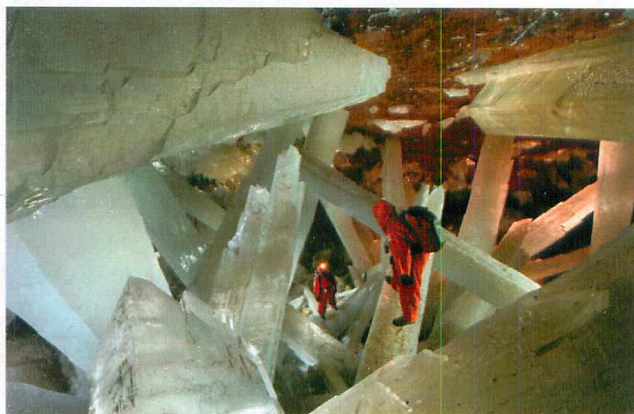
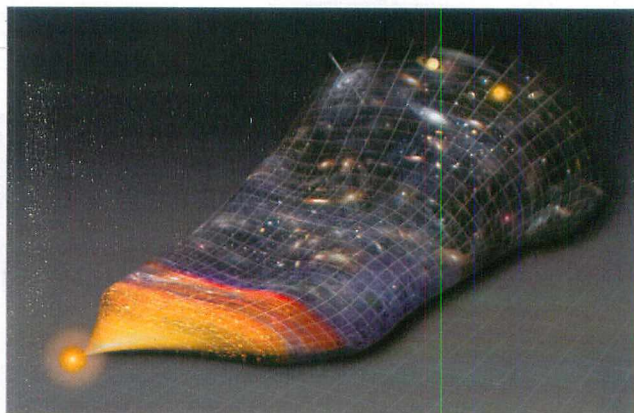
di Roberto Di Capua, Marina Putti e Ruggero Vaglio

Nel 1911 Heike Kamerling Onnes osservò per la prima volta la superconduttività. Un secolo di ricerche e sviluppo intorno a questo fenomeno ha portato a fondamentali contributi teorici nella fisica della materia e a importanti applicazioni tecnologiche.

La foresta dei cristalli giganti

di Giovanni Badino e Paolo Forti

Nel nord del Messico, un sistema di grotte ospita cristalli di gesso di dimensioni incredibili – dai quattro ai sei metri in media – il cui studio, a causa delle condizioni estreme dell'ambiente e della sua fragilità, rappresenta una sfida scientifica e tecnologica. Due protagonisti dell'esplorazione della Cueva de los Cristales raccontano la storia di questo affascinante progetto di ricerca.

Malcolm Godwin (*inflazione*); cortesia Archivio La Venta e C/producciones (*cristalli*)

LE SCIENZE S.p.A.
Sede legale: Via Cristoforo Colombo 149, 00147 ROMA.

Abbonamenti e arretrati: 199 700 721
(02 39633433 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari), il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 centesimi di euro al minuto + 6,19 centesimi di euro alla risposta (IVA inclusa)
redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Distribuzione per l'Italia
Gruppo Editoriale L'Espresso,
via Cristoforo Colombo 149, 00147 Roma.

Stampa
Rotosud: Loc. Miole Le Campore-Oricola;
Legatoria Europea (allestimento) Ariccia (Roma).
Copertina: Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Alessandro Alacevich, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - aprile 2011

ISSN0036-8083

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson, Christine Soares, Gary Stix, Kate Wong.

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and publisher: Bruce Brandfon;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Elena Bernacchi: *Destinazione Mercurio*; Andrea Cavatorti: *La migrazione delle piogge, Nuove ipotesi su Stonehenge*; Cristina Serra: *Malattie in provetta, Non è una malattia da ricchi;* Alfredo Tutino: *Diavoli, entropia e la corsa verso lo zero assoluto, Trappola per dinosauri.*

ABBONAMENTI SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Tel. 199.700.721 (02 39633433 per chi chiama da telefoni pubblici o cellulari), il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,26 cent di euro al minuto + 6,19 cent di euro alla risposta (IVA inclusa); Fax 02 26681991
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 70648277, Fax. 02 70648237

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 7,80
Estero	
abb. annuale	€ 52,00
abb. biennale	€ 87,00
abb. triennale	€ 110,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7025 del 21/12/2010

ESISTONO PAESI CHE TI
APRONO L'ANIMA
MAROCCO
TRAVEL FOR REAL